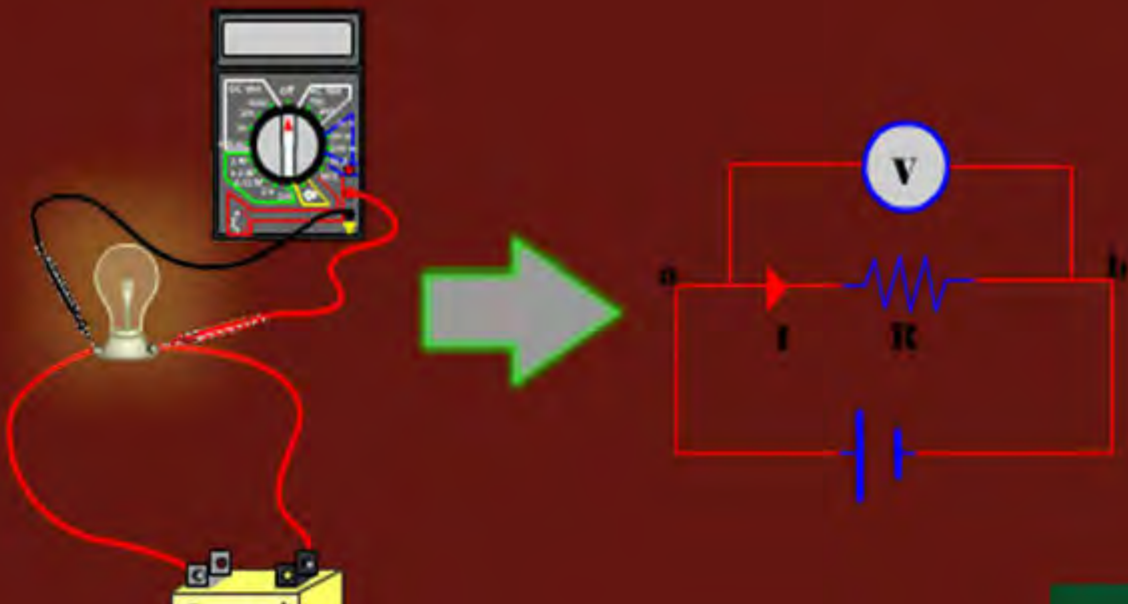
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
REPUBLIK INDONESIA
2013

DASAR DAN PENGUKURAN LISTRIK

Semester 2



Kelas X

DASAR DAN PENGUKURAN LISTRIK 2

Penyusun :
Reni Nuraeni ST, M.Pd
Drs. Charles A Selan, Dipl.Ing

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014
Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MB

DAFTAR ISI

Halaman

I. PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU BAHAN AJAR

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengatahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul *Dasar dan Pengukuran Listrik 2* ini merupakan dasar program keahlian yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada mata pelajaran Dasar dan Pengukuran Listrik, untuk SMK program Keahlian teknik Teknik Ketenagalistrikan pada kelas X.

Buku ini menjabarkan usahan minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan “dokumen hidup” yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Prasyarat

Untuk dapat mengikuti buku bahan ajar ini, peserta didik harus sudah menguasai materi pelajaran IPA dan matematika tingkat SLTP dan telah menyelesaikan buku-buku bahan ajar dengan judul Dasar dan Pengukuran Listrik 1, serta menguasai penggunaan alat-alat ukur listrik.

Penilaian

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan peserta dalam mengikuti buku bahan ajar ini di lakukan evaluasi terhadap aspek pengetahuan, keterampilan dan sikap dengan mengikuti prinsip penilaian autentik selama kegiatan belajar berlangsung. Aspek pengetahuan (teori) di evaluasi secara tertulis menggunakan jenis tes jawaban singkat dan essai atau pun saat melakukan diskusi , sedangkan aspek keterampilan (praktek) di evaluasi melalui pengamatan langsung terhadap proses kerja, hasil kerja dan sikap kerja.

Peserta yang dinyatakan lulus dalam mengikuti buku bahan ajar ini harus memenuhi persyataan sebagai berikut :

- Selesai mengajarkan semua soal-soal evaluasi tersebut dengan benar.
- Selesai mengejakan soal-soal evaluasi dalam buku bahan ajar ini dan mencapai nilai standar minimum 80 (delapan puluh)
- Pengerjaan tugas praktek mencapai standar keterampilan yang diinginkan.

C. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (*saintifik approach*). Langkah-langkah pendekatan ilmiah (*scientific approach*) dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melalui pengamatan, bertanya, percobaan, kemudian mengolah data atau informasi dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah energi listrik dan penggunaannya. Langkah awal untuk mempelajari energi listrik adalah dengan melakukan pengamatan

(observasi). Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang sangat aktif, inovatif, kreatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati.

Dengan keterampilan ini, kalian dapat mengetahui bagaimana mengumpulkan fakta dan menghubungkan fakta-fakta untuk membuat suatu penafsiran atau kesimpulan. Keterampilan ini juga merupakan keterampilan belajar sepanjang hayat yang dapat digunakan bukan saja untuk mempelajari berbagai macam ilmu, tetapi juga dapat dipergunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Pengamatan

Melibatkan pancaindra, termasuk melakukan pengukuran dengan alat ukur yang sesuai. Pengamatan dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi.

Membuat Inferensi

Merumuskan penjelasan berdasarkan pengamatan. Penjelasan ini digunakan untuk menemukan pola-pola atau hubungan-hubungan antar aspek yang diamati, serta membuat prediksi, atau kesimpulan.

Mengkomunikasikan

Mengkomunikasikan hasil penyelidikan baik lisan maupun tulisan. Hal yang dikomunikasikan termasuk data yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, bagan, dan gambar yang relevan.

Buku bahan ajar "*Dasar dan Pengukuran Listrik 2*" ini, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas X, semester genap, mencakupi kompetensi dasar 3.8 dan 4.8 sampai dengan 3.11 dan 4.11, yang terbagi menjadi empat kegiatan belajar, yaitu (1) Menganalisis rangkaian arus bolak-balik (AC) (2) Menganalis rangkaian kemagnetan 3) Menganalisis rangkaian elektronika daya (4) Menganalisis rangkaian digital. Pada buku bahan ajar ini kalian diberi beberapa tugas,menganalisa rangkaian dan membuat Proyek yang berkaitan dengan materi yang sedang dipelajari agar kalian lebih paham dalam membuat suatu aplikasi rangkaian.

D. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari buku bahan ajar ini peserta didik dapat :

- Menjelaskan pengertian periode, frekuensi, bentuk gelombang, dan tegangan sinusoida, pola dan beda pola serta kerja-kerja besaran arus bolak balik melalui praktek laboratorium.
- Mendiskusikan karakteristik arus dan tegangan AC pada berbagai jenis beban listrik melalui percobaan.
- Mengkaji rangkaian listrik arus bolak balik melalui percobaan.
- Mendistribusikan penilaian daya listrik arus bolak balik melalui percobaan
- Memperbaiki faktor daya rangkaian listrik arus bolak balik melalui percobaan-percobaan.
- Mengkaji rangkaian listrik arus bolak balik.
- Menjelaskan konsep gaya magnet dan bahan-bahan magnet.
- Mendiskripsikan besaran-besaran magnet dan satuannya.
- Mendiskripsikan garis-garis gaya magnet dan garis-garis induksi magnet.
- Menjelaskan prinsip pembangkitan gaya mekanik pada konduktor berarus listrik.
- Menjelaskan usaha yang dilakukan untuk menggerakkan konduktor berarus listrik.
- Menjelaskan harga intensitas medan magnet yang ditimbulkan.
- Mengidentifikasi komponen elektronika daya/ semikonduktor.
- Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi piranti elektronika daya.
- Merancang rangkaian elektronika daya.
- Mengenal sistem bilangan.
- Melakukan konversi sistem bilangan.
- Mengidentifikasi gerbang-gerbang logika.
- Mengidentifikasi rangkaian sekuensial.
- Merancang rangkaian digital.

E. Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar Mata Pelajaran Dasar Dan Pengukuran Kelas X

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai aturan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik.
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menerapkan konsep listrik (arus dan potensial listrik) 3.2. Menentukan bahan-bahan listrik 3.3. Menenetukan sifat rangkaian listrik arus searah dan rangkaian peralihan 3.4. Menerapkan teorema rangkaian listrik arus searah 3.5. Menentukan daya dan energi listrik 3.6. Menentukan kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 3.7. Menentukan kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya 3.8. Menentukan kondisi operasi pengukuran tahanan (resistan) listrik 3.9. Menentukan kondisi operasi pengukuran besaran listrik dengan oskiloskop 3.10. Menentukan peralatan ukur listrik untuk mengukur besaran listrik.

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
	3.11. Menerapkan hukum-hukum rangkaian rangkaian listrik arus bolak-balik 3.12. Menerapkan hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnitan 3.13. Menentukan kondisi operasi dan spesifikasi piranti-piranti elektronika daya dalam rangkaian elektronik 3.14. Menentukan kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.1. Mendemonstrasikan konsep listrik (gejala fisik arus listrik dan potensial listrik) 4.2. Memeriksa bahan-bahan listrik 4.3. Memeriksa sifat elemen pasif dalam rangkaian listrik arus searah dan rangkaian peralihan 4.4. Menganalisis rangkaian listrik arus searah 4.5. Memeriksa daya dan energi listrik 4.6. Memeriksa kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 4.7. Memeriksa kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 4.8. Memeriksa kondisi operasi pengukuran tahanan listrik 4.9. Memeriksa kondisi operasi pengukuran besaran listrik dengan oskilsokop 4.10. Mendemonstrasikan penggunaan peralatan ukur listrik untuk mengukur besaran listrik 4.11. Memeriksa rangkaian listrik arus bolak-balik 4.12. Memeriksa rangkaian kemagnitan 4.13. Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi piranti-piranti elektronika daya dalam rangkaian listrik 4.14. Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar

F.Silabus Mata Pelajaran

Satuan Pendidikan : SMK
Program keahlian : Teknik Ketenagalistrikan
Paket Keahlian : Teknik Pendingin & Tata Udara
Mata Pelajaran : Dasar dan Pengukuran Listrik
Kelas /Semester : X

Kompetensi Inti:

KI 1 : Menghayatidanmengamalkanajaran agama yang dianutnya
KI 2 : Menghayatidanmengamalkanperilakujujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotongroyong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsifdan pro-aktifdanmenunjukkansikapsebagaibagiandarisolusiatasberbagaipermasalahandalam berinteraksisecaraefektifdenganlingkungansosialdanalamsertadalammenempatkandirisebagaicerminanbangsadalampergaulandunia.
KI 3 : Memahami, menerapkandanmenganalisispengetahuanfaktual, konseptual, danproseduralberdasarkan rasa ingintahunyatentangilmupengetahuan, teknologi, seni, budaya, danhumanioradalamwawasankemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, danperadabanterkaitpenyebabfenomenadankejadiandalambidangkerja yang spesifikuntukmemecahkanmasalah.
KI4 : Mengolah, menalar, danmenyajidalamranahkonkretdanranahabstrakterkaitdenganpengembangandari yang dipelajarinya di sekolahsecaramandiri, danmampumelaksanakantugasspesifik di bawahpengawasanlangsung.

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
Semester 1					
1.3. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
sebagai aturan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik 1.4. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik					
2.4. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
pengukuran listrik. 2.5. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik. 2.6. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang dasar dan pengukuran listrik.					
3.1. Menerapkan konsep listrik yang berkaitan dengan gejala fisik arus dan potensial listrik. 4.1. Mendemonstrasikan konsep listrik (arus dan potensial listrik)	• Arus listrik • potensial listrik	**Mengamati:** Mengamati gejala fisik muatan listrik, arus elektron, arus listrik dan potensial listrik. **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang konsep listrik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : konsep listrik **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan	**Kinerja:** Pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang rangkaian listrik arus searah **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: konsep listrik. **Portofolio:** Laporan penyelesaian	10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		hubungan antara muatan listrik, arus listrik, dan potensial listrik, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan penerapan konsep listrik **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: muatan listrik, arus listrik dan muatan listrik secara lisan dan tulisan	tugas Tugas: Memeriksa gejala fisik muatan listrik, arus listrik, dan potensial listrik		
3.2. Menentukan bahan-bahan listrik 4.2. Memeriksa bahan-bahan listrik	Bahan-bahan listrik - konduktor - isolator - bahan semikonduktor	**Mengamati:** Mengamati bahan-bahan listrik dari segi jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan,	10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengasosiasi: Mengategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil faktualisasi tentang: jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilainya	dimensi, ukuran dan penentuan nilai konduktor, isolator, dan semikonduktor. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa jenis, bahan dasar, konstruksi dan pengemasan, dimensi, ukuran dan penentuan nilai konduktor, isolator, dan semikonduktor		
3.3. Menentukan sifat elemen pasif dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan 3.3. Memeriksasifat elemen pasif	• Elemen pasif rangkaian listrik - resistor dan resistansi - induktor dan induktansi - kapasitor dan kapasitansi	**Mengamati:** Mengamati gejala fisik elemen pasif, danparameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan serta daya dan energi listrik **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang gejala fisik	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang rangkaian listrik arus searah	3 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan	• Memeriksa Rangkaian resistor - seri - paralel - kombinasi - Hukum Ohm - Hukum Kirchoff • Memeriksa Rangkaian Peralihan Seri RC	elemen pasif, dan parameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan serta daya dan energi listrik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : gejala fisik elemen pasif, danparameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan. **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : gejala fisik elemen pasif, dan parameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan . **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: gejala fisik elemen pasif, dan parameter rangkaian dalam rangkaian listrik arus searah dan peralihan secara lisan dan tulisan	**Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: elemen pasif da elemen aktif serta parameter rangkaian listrik arus searah. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa parameter rangkaian listrik arus searah		Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai
3.4. Menerapkan Teorema Rangkaian Listrik	• Teorema Superposisi	**Mengamati:** Mengamati berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan	3 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik,

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
arus searah 4.4. Menganalisis Rangkaian listrik Arus searah	• Teorema Dua kutub • Transfer daya maksimum • Teori Maxwell • Transformasi star-delta dan sebaliknya • Jembatan Wheatstone	jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta	kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer		Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengomunikasikan: Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-deltasecara lisan dan tulisan	daya maksimum dan transformasi star-delta **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Menganalisis berbagai teorema rangkaian listrik arus searah, meliputi rangkaian jembatan, superposisi, dua kutub, transfer daya maksimum dan transformasi star-delta		
3.5. Menentukan daya dan konsumsi energi listrik 3.5. Memeriksa daya dan konsumsi energi listrik	• Daya listrik • Energi listrik	**Mengamati:** Mengamati fenomena daya dan konsumsi energi listrik **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang daya dan konsumsi energi listrik	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang konsep dan feneomena daya dan energi listrik	10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengeksplorasi: Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang daya dan konsumsi energi listrik **Mengasosiasi:** Mengolah data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan daya dan konsumsi energi listrik **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang: daya dan energi listrik secara lisan dan tulisan	**Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait konsep dan fenomena daya dan energi lsitrik. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa nilai daya dan energi lsitrik		
3.6. Menentukan kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan listrik 4.6. Mengoperasikan Alat ukur arus dan tegangan listrik	1. Pembacaan nilai ukur 2. Kondisi operasi Pengukuran arus dan tegangan - besi putar, - kumparan putar, - desain ampermeter	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan	2 x 10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
	- desain voltmeter	desain voltmeter. **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter.	putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: elemen kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa kondisi operasi pengukuran arus dan tegangan, meliputi prinsip alat ukur besi		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
			putar, kumparan putar, desain ampermeter dan desain voltmeter.		
3.7. Menentukan kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya 4.7. Memeriksa kondisi pengukuran daya, energi, dan faktor daya listrik	• Pengukuran daya listrik -elektrodinamis -desain wattmeter - pengukuran daya tiga fasa • Pengukuran energi listrik - Ferraris - induksi • Pengukuran daya reaktif dan faktor daya	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan	2 x 10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengasosiasi: Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan Pembacaan nilai ukur dari alat ukur analog dan digital, kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi	praktek terkait dengan: kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Memeriksa kondisi operasi pengukuran daya, energi, dan faktor daya, meliputi prinsip		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
			elektrodinamis, disain wattmeter, pengukuran daya tiga fasa, prinsip alat ukur ferraris, dan induksi		
3.8. Menentukan kondisi operasi pengukuran tahanan (resistan) listrik 4.8. Mengoperasikan Alat ukur tahanan listrik	Pengukuran tahanan listrik • Ohmmeter - Ohmemter seri - Ohmmeter paralel • Jembatan wheatstone	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Mengasosiasi:**	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: kondisi operasi pengukuran tahanan listrik	10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone	dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: kondisi operasi pengukuran tahanan listrik dengan ohmmeter dan jembatan wheatstone		
3.9. Menentukan kondisi operasi oskiloskop 4.9. Mengoperasikan oskilsokop	Oskiloskop analog - Pemancar elektron - Penguat vertikal - Penguat horisontal - Generator waktu - Trigerring dan	**Mengamati:** Mengamati kondisi operasi oskiloskop untuk pengukurantegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: kondisi operasi oskiloskop untuk pengukurantegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous.	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek kondisi operasi oskiloskop untuk pengukurantegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan	10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
	bias waktu Oskiloskop digital - ADC - DAC - Penyimpan elektronik Pengukuran dengan Oskilsoskop - Pengukuran tegangan DC - Pengukuran tegangan AC, periode, dan frekuensi - Pengukuran arus AC - Pengukuran Beda Fasa	**Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : kondisi operasi oskiloskop untuk pengukurantegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Mengasosiasi:** Mengategorikan data dan menentukan nilai ukur dan ketelitiannya selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan : kondisi operasi oskiloskop untuk pengukurantegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil pengukuran besaran listrik terkait dengan kondisi operasi oskiloskop untuk pengukurantegangan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous.	metoda lissajous. **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuranteg angan DC, tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: kondisi operasi oskiloskop untuk pengukuranteg angan DC,		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
	- Metoda Lissajous		tegangan dan arus AC, beda fasa dan metoda lissajous.		
3.10. Menentukan peralatan ukur listrik untukmengukur besaran listrik 4.10. Mendemonstasikan penggunaan peralatan ukur listrik untuk mengukur besaran- besaran listrik	• Pengukuran besaran listrik: - terminologi - sistem satuan - Kerja Proyek	**Mengamati:** Mengamati terminologi yang digunakan dalam pengukuran besaran listrik dan sistem satuan yang digunakan dalam pengukuran listrik **Menanya:** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang: terminologi yang digunakan dalam pengukuran besaran listrik dan sistem satuan yang digunakan dalam pengukuran listrik **Mengeksplorasi:** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang : terminologi yang digunakan dalam pengukuran besaran listrik dan sistem satuan yang digunakan dalam pengukuran listrik serta melakukan percobaan pengukuran listrik melalui kerja proyek	**Kinerja:** Pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek menggunakan alat ukur listrik **Tes:** Tes tertulis mencakupi prinsip dan penggunaan alat ukur listrik **Tugas:** Kerja proyek Pengukuran besaran listrik **Portofolio:** Laporan kegiatan belajar secara tertulis dan presentasi hasil kegiatan belajar	3 x 10 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengasosiasi: Mengategorikan data dan menafsirkan, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan hasil kerja proyek yang dilakukannya **Mengomunikasikan:** Menyampaikan hasil kerja proyek tentang:pengukuran arus, tegangan, daya, faktor daya,dan energi listrik secara lesan dan tulisan			

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
Semester 2					
3.11. Menerapkan hukum-hukum rangkaianlistri karusbolak-balik 4.11. Memeriksaran gkaianlistrik arusbolak-	• Analisa rangkaian sinusoida - tegangan dan arus sinusoida - nilai sesaat - nilai maksimum - nilai efektif (RMS) • Respon elemen pasif - resistor (sefasa)	**Mengamati:** Mengamati hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang berbagai	4 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
balik	- induktor (lagging) - kapasitor (leading) • Rangkaian seri/paralel RL • Rangkaian seri/paralel RC • Rangkaian seri/paralel RLC • Resonansi • daya dan faktor daya • sistem tiga fasa - hubungan bintang - hubungan segitiga • Fasor dan bilangan komplek	sistem tiga fasa. **Menanya :** Mengkondisikansituasibelajaruntukmembiasakanmengajukanpertanyaansecaraaktifdanmandiritentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakandanmenentukansumber(melaluibendakonkrit, dokumen, buku, eksperimen) untukmenjawabpertanyaan yang diajukantentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen	hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi		Rangkaian Listrik, William Hayt • Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data danmenentukanhubunganny a, selanjutnyanyadisimpulkand enganurutandari yang sederhanasampaipada yang lebihkomplekster kaitdengan : hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikanhasilkonseptu alisasitentang:hukum-hukum dan fenomena rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen	arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Menganalisis rangkaian arus bolak-balik, meliputi arus dan tegangan sinusoida, respon elemen pasif,		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		pasif, rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa. secara lesan dan tertulis	rangkaian seri/parlel RL, RC, RLC, resonansi, Daya dan faktor daya, dan sistem tiga fasa.		
3.12. Menerapkan hukum-hukum rangkaian kemagnetan 3.12. Menganalisis rangkaian kemagnetan	• Rangkaian kemagnetan - kemagnetan listrik - induksi kemagnetan - induktansi diri - induktansi bersama	**Mengamati:** Mengamati hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan,induksi diri dan induktansi bersama **Menanya :** Mengkondisikansituasibelaja runtukmembiasakanmengaju kanpertanyaansecaraaktifda nmandiritentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama	**Kinerja:** pengamatan sikap kerja dan kegiatan praktek di dalam laboratorium tentang hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama	3 x 10 JP	• Buku Rangkaian Listrik, Schaum Series , Yosep Ed Minister • Buku Rangkaian Listrik, William Hayt • Buku referensi dan artikel yang sesuai

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengeksplorasi : Mengumpulkan data yang dipertanyakandanmenentuka nsumber (melaluibendakonkrit, dokumen, buku, eksperimen) untukmenjawabpertanyaan yang diajukantentang : hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data danmenentukanhubungannya, selanjutnyanyadisimpulkandenganurutandari yang sederhanasampaipada yang lebihkompleksterkaitdengan : hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama	**Tes:** Tes lisan, tertulis, dan praktek terkait dengan: hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama **Portofolio:** Laporan penyelesaian tugas Tugas: Menganalisis rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan,		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengkomunikasikan : Menyampaikanhasilkonseptualisasitentang:hukum-hukum dan fenomena rangkaian kemagnetan, meliputi kemagnetan listrik, induksi kemagnetan, induksi diri dan induktansi bersama	induksi diri dan induktansi bersama		
3.13. Menentukan kondisi operasidan spesifikasi piranti-pirantielektronikadayadalam rangkaianelektronik 4.13. Memeriksa kondisi operasidan spesifikasi piranti-pirantielektronikadayadalam rangkaianlistrik.	• Teori semikonduktor • PN Junction (diode) • BJT (transistor, IGBT) • Thyristor (SCR, TRIAC) • Rangkaian terintegrasi (IC) • Operational Amplifier • Rangkaian penyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier)	**Mengamati** : fenomena dan prinsip-prinsip: • PN Junction (diode) • BJT (transistor, IGBT) • Thyristor (SCR, TRIAC) • Rangkaianterintegrasi (IC) • Operational Amplifier • Rangkaianpenyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier) **Menanya :** Mengkondisikansituasibelajaruntukmembiasakanmengajukanpertanyaansecaraaktifdanmandiritentang : PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC),	**Kinerja:** Pengamatansikapkerjadankegiatanpraktekmenggunakanpiranti elektronik **Tes:** Testertulismencakupiprinsipdan penggunaanpiranti elektronik **Tugas:** Perakitan rangkaian kontrol elektronik **Portofolio:** Laporankegiata	3 x 10 JP	•

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Rangkaianterintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaianpenyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier). **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakandanmenentukansumber (melaluibendakonkrit, dokumen, buku, eksperimen) untukmenjawabpertanyaan yang diajukantentang : PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC), Rangkaianterintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaianpenyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier). **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data danmenentukanhubungannya, selanjutnyanyadisimpulkandenganurutandari yang	nbelajarsecaratertulisdanpresentasihasilkegiatanbelajar		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		sederhanasampaipada yang lebihkompleksterkaitdengan : PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC), Rangkaianterintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaianpenyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier). **Mengkomunikasikan :** Menyampaikanhasilkonseptualisasitentang: PN Junction (diode), BJT (transistor, IGBT), Thyristor (SCR, TRIAC), Rangkaianterintegrasi (IC), Operational Amplifier, Rangkaianpenyearahan (Half wave rectifier, full wave rectifier),secara lesan dan tertulis.			
3.14. Menentukan kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar	• Sistem bilangan • Gerbang digital - AND -OR -Not	**Mengamati**fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register	**Kinerja:** Pengamatansikapkerjadankegiatanpraktekmenggunakan dan memeriksa	4 x 10 JP	•

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
4.14. Memeriksa kondisi operasi dan spesifikasi rangkaian digital dasar	• Rangkaian Dasar digital -NOR -NAND -XOR -Flip-flop -Register	**Menanya :** Mengkondisikansituasibelajaruntukmembiasakanmengajukanpertanyaansecaraaktifdanmandiritentangfenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakandanmenentukansumber (melaluibendakonkrit, dokumen, buku, eksperimen) untukmenjawabpertanyaan yang diajukantentang : fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register **Mengasosiasi :**	rangkaian digital dasar **Tes:** Testertulismencakupiprinsipdanpenggunaanrangkaian digital dasar **Tugas:** Pemeriksaan dan perakitan rangkaian digital dasar **Portofolio:** Laporankegiatanbelajarsecaratertulisdanpresentasihasilkegiatanbelajar		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Mengkatagorikan data danmenentukanhubungannya, selanjutnyanyadisimpulkandenganurutandari yang sederhanasampaipada yang lebihkompleksterkaitdengan : fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register **Mengkomunikasikan :** Menyampaikanhasilkonseptualisasitentang: fenomena dan prinsip-prinsip sistem bilangan, gerbang digital, dan rangkaian dasar digital meliputi NOR, NAND, XOR, Flip-flop, dan register secara lesan dan tertulis.			

II. PEMBELAJARAN

Kegiatan belajar 1. Menganalisa rangkaian arus bolak-balik

A. Uraian Materi

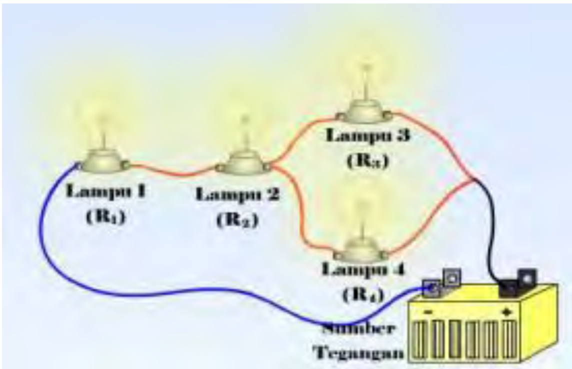
1. Arus Bolak – Balik

Pada kegiatan belajar sebelumnya di semester 1,kalian sudah belajar tentang rangkaian DC (*Direct Current*). Pada kegiatan belajar 1 ini kalian akan belajar rangkaian AC (*Alternating Current*).

Kalian mungkin sudah mengenal apakah itu arus bolak-balik (AC) yang sudah terdistribusi dari PLN dan dimanfaatkan di rumah, di sekolah atau di industri. Setiap peralatan yang dihubungkan dengan stop kontak listrik pastilah menggunakan sumber tegangan AC, maka pada kegiatan belajar ini kalian akan mempelajari beberapa teknik dasar listrik untuk menganalisa rangkaian arus bolak-balik (AC).



Gambar 1-1.1 lampu dengan sumber AC



Gambar 1-1.2 lampu dengan sumber DC

Tugas 1.1 Mempelajari arus bolak-balik (AC)

Sebelum mempelajari tentang arus Bolak-balik (AC),coba kalian diskusikan:

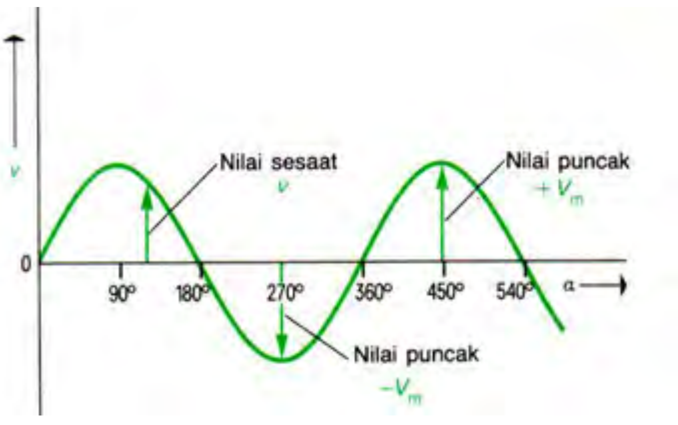
1. Bandingkan kelebihan dan keuntungan arus bolak-balik   (AC) dengan arus searah (DC) !
2. Apa saja yang harus diperhatikan termasuk Keselamatan dan kesehatan Kerja (K3) jika kita menggunakan sumber tegangan AC dibandingkan menggunakan sumber DC?
3. Mengapa di Industri mayoritas peralatannya memerlukan sumber AC?
4. Mengapa dikatakan arus bolak-balik?

Listrik yang umumnya digunakan di rumah-rumah, di kantor-kantor, di sekolah-sekolah atau di tempat-tempat lainnya adalah listrik arus bolak balik. Selain listrik arus bolak balik ada juga listrik arus searah. Salah satu kelebihan listrik arus bolak-balik di bandingkan dengan listrik arus searah adalah bahwa tegangan listrik arus bolak-balik dinaikkan atau diturunkan menggunakan transformator.

Arus bolak-balik dibangkitkan oleh sebuah generator (dinamo arus bolak-balik) prinsip kerja dinamo listrik adalah berdasarkan atas induksi gaya gerak listrik (g.g.l). Kawat penghantar yang berada dalam medan magnet dan letaknya tegak lurus terhadap arah medan (V) bila digerakkan memotong garis-garis gaya (B) timbullah dalam kawat itu arus listrik. Berarti bahwa dalam kawat timbul gaya gerak magnet listrik. Apabila suatu *coil* diputar dalam medan magnit homogen maka pada *coil* dimaksudkan dibangkitkan gaya gerak listrik (ggl) berubah-ubah, yang secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$V = U = Um \sin \omega t$$

Dimana : U adalah harga sesaat ggl yang dibangkitkan, ω adalah kecepatan *angular* putaran *coil*, Um adalah harga maksimum ggl yang dibangkitkan. Secara grafik ggl sesaat yang dibangkitkan ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1-1.3 Gelombang arus bolak-balik

Sumbu Horizontal merepresentasikan waktu dan sudut q yang dibentuk oleh lintasan *coil* selama waktu t, dimana q = ω t. Gambar di atas memperlihatkan satu *cycle* lintasan *coil* atau disebut juga satu periode lintasan *coil* (T).

Bagaimanakah prinsip pembangkitan tegangan bolak-balik?

Prinsip pembangkitan gaya gerak listrik (ggl) adalah merupakan peristiwa induksi. Apabila sebuah batang penghantar digerak-gerakkan dalam meda magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet,maka pada penghantar tersebut akan terbangkit ggl induksi. Besarnya ggl yang terbangkit sesuai dengan hukum yang ditemukan Faraday dan dikenal dengan hukum Faraday yang berbunyii seperti berikut:

Besarnya ggl induksi yang terbangkit dalam suatu penghantar atau rangkaian berbanding lurus dengan cepat perubahan flux magnetik yang dilingkupinya.

Sebelum mempelajari konsep rangkaian arus bolak-balik lebih jauh, terlebih dahulu dijelaskan beberapa pengertian sebagai berikut :

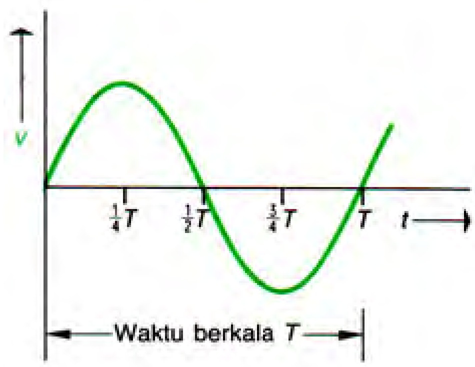
1.1 Gelombang Arus Bolak-balik

a) Periode (T)

Periode dari tegangan dan arus bolak-balik adalah waktu yang diperlukan oleh arus dan tegangan tersebut untuk membentuk satu bagian positif dan satu bagian negatif dari siklusnya. Dengan kata lain periode adalah waktu untuk menimbulkan satu gelombang penuh.

Perioda pada arus bolak balik didefinisikan sebagai berikut:

Perioda adalah waktu yang dibutuhkan oleh satu gelombang penuh untuk merambat.



Gambar 1-1.4 Gelombang 1 perioda

b) Frekuensi (F)

Frekuensi adalah jumlah gelombang (periode) per detik atau *cycle per second.*

Frekuensi adalah banyaknya gelombang penuh yang terbangkit dalam satu detik.

Bila mesin pembangkit tenaga listrik mempunyai (P) buah kutub maka frekuensi adalah sebagai berikut:

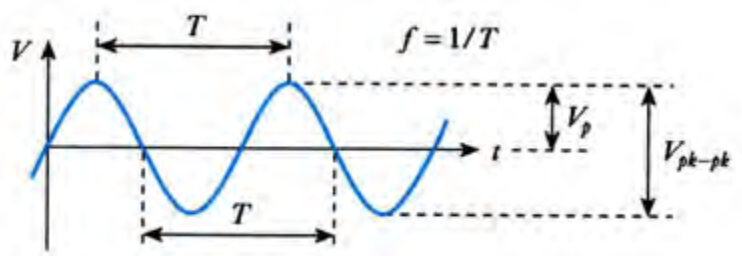
$F = \frac{Pn}{2}$ cycle per second,

dimana : n = jumlah putaran mesin per 1 detik.

Oleh karena T adalah waktu yang dibutuhkan untuk 1 gelombang penuh maka :

$F = \frac{1}{T}$ *Cycle per second*

Dapat dikatakan banyaknya periode (putaran/gelombang) tiap detik dinamakan frekuensi dalam satuan Hertz (Hz).



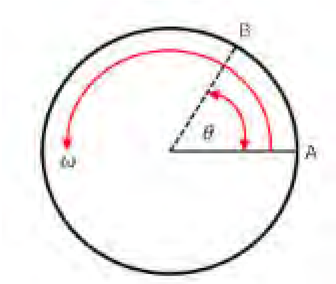
Gambar 1-1.5 *Perioda dan Frekuensi*

c) Radian dan Kecepatan Sudut

Untuk memahami bentuk gelombang,penting juga diketahui tentang radian dan kecepatan sudut.

Radian disingkat RAD adalah satuan untuk sudut pada bidang datar dalam satuan Internasional (SI). Didefinisikan Satu Radian adalah sudut yang terbentuk diantara dua jari-jari lingkaran,dimana panjang busur di depan sudut tersebut sama dengan jari-jari.

Diketahui keliling lingkatan sama dengan $2\pi r$ (dimana r sama dengan jari-jari),maka besar sudut sebuah lingkaran sama dengan 2π radian.



Gambar 1-1.6 Radian

Kecepatan sudut adalah besar sudut yang ditempuh dalam radian persatuan waktu. Satu kali putaran penuh suatu benda menempuh sudut sebesar . jika waktu yang diperlukan untuk satu kali putaran penuh sama dengan T (satu periode).

Bila arus tegangan bolak balik dituliskan sebagai fungsi waktu, kita akan dapatkan bentuk gelombang arus atau tegangan Pada penggambaran gelombang sebagai fungsi ω kita dapatkan

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s}$$

$$= 2\pi \,.\, f \text{ rad.}$$

Dimana : ω adalah kecepatan sudut dalam radian atau derajat .

Contoh 1.1

Jika sebuah generator berputar dengan kecepatan 100 r/m, berapakah kecepatan sudut dari generator tersebut?

Penyelesaian:

n = 100 r/m = 100/60 r/s

jadi t satu putaran = 60/100 detik

maka:

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ rad/s

$\omega = \frac{2\pi}{60/100} = 3{,}333$ rad/s

Contoh 1.2

Sebuah gelombang tegangan arus bolak-balik mempunyai persamaan e = Em sin 100 πt, hitunglah:

a. Frekuensi

b. Perioda

Jawaban :

a. Frekuensi

$\omega = 2\pi$. f rad. = 100 π

f = 100 π / 2π = 50 hz

b. Perioda

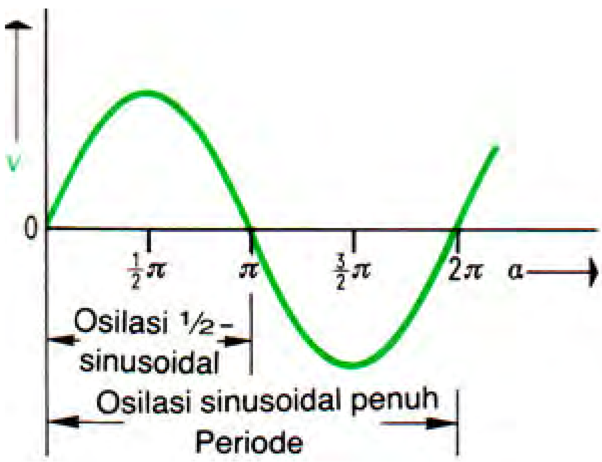
T = 1 /f

T = 1 / 50

T = 0,02 detik

1.2 Arus dan gelombang sinusoida

Kebanyakan bentuk gelombang yang kita jumpai adalah merupakan gelombang sinus seperti gambar di bawah ini :



Gambar 1-1.7. Gelombang sinusoida

Persamaan arus sinusoida adalah sebagai berikut :

$$I = Im\ Sin.\ \omega\ t$$

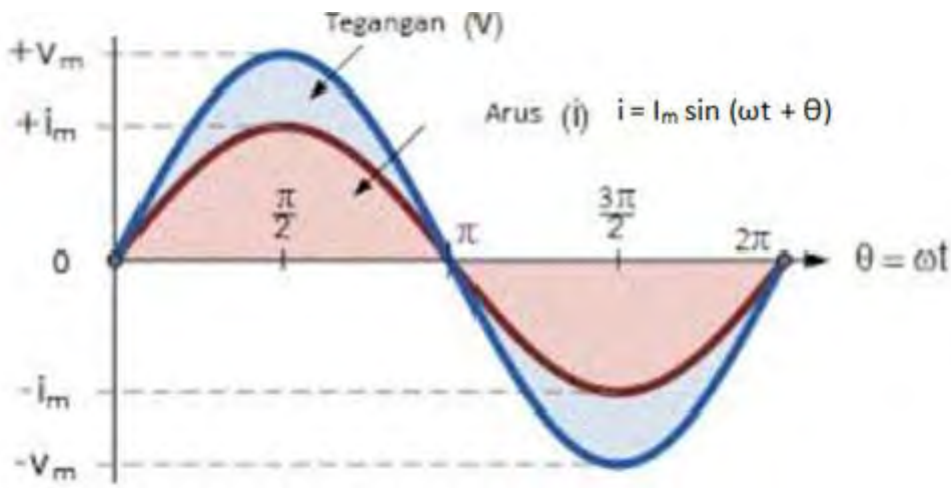
Dimana : ω t dinyatakan dalam radian dan disebut *time angle*.

I adalah besar arus sesaat.

Im adalah besar arus maksimum

1.3 Fasa

Sudut fasa sebuah gelombang adalah besar sudut yang dihitung mulai dari titik nol gelombang tersebut ke titik mana perhitungan waktu mulai dilakukan.



Gambar 1-1.8 gelombang fasa

Persamaan I = Im sin (ωt +θ) adalah arus sinusoida dengan sudut fasa θ oleh karena titik perpotongan sumbu tidak bisa diambil pada saat i = 0

Bila titik perpotongan sumbu kita ambil pada saat I = Im maka besar θ = 90^0 (π/2). Jadi sudut fasa θ = 90^0

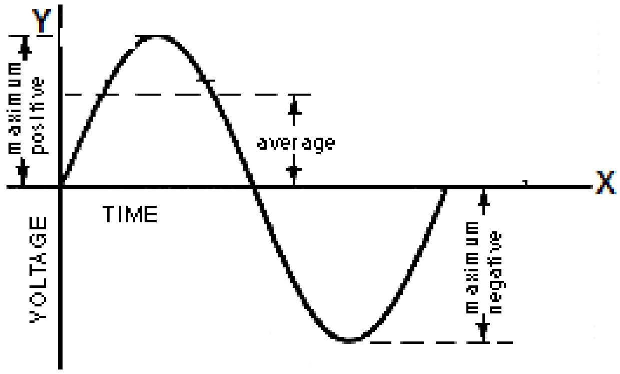
2. Harga-Harga pada rangkain listrik arus bolak-balik

2.1 Harga Rata-rata

Pada gelombang arus bolak-balik, umumnya terlihat bahwa harga setengah gelombang positip dan setengah gelombang negatif adalah sama. sehingga harga rata-rata untuk satu gelombang penuh atau *cycle* penuh sama dengan nol.

Harga rata-rata arus bolak-balik adalah harga arus bolak-balik yang setara dengan suatu harga arus rata (arus dc) dalam waktu yang sama dapat memindahkan sejumlah listrik yang sama.

Jadi harga rata-rata dari arus atau tegangan bolak-balik diambil untuk satu periodik, seperti gambar berikut ini :



Gambar 1-2.1 grafik sinus

Sumbu Y adalah sumbu untuk harga sin θ sedangkan sumbu x adalah sumbu untuk harga θ dimana harga θ ini terletak diantara 0^0 sampai dengan 180^0 . Grafik sinus setengah periode dari gambar Grafik sinus setengah periode di atas pada sumbu x nya dibagi-bagi menjadi sejumlah devisi yang sama misalnya 10,20,30,40,50, dan seterusnya. Ambil titik pertengahan dari masing-masing devisi, kemudian tarik garis ordinat.

Harga rata-rata ordinat yang ditarik dari titik pertengahan devisi dimaksud dapat dihitung dengan menjumlahkan besaran ordinat-ordinat itu dibagi dengan banyaknya ordinat yang terdapat dalam setengah periode gelombang arus bolak-balik. Hasil perhitungan demikian ini selanjutnya merupakan harga rata-rata arus dan tegangan bolak-balik. Apabila harga

maksimum dari kurva di atas adalah 1 maka harga rata-rata arus dan tegangan bolak-balik dapat dihitung menurut tabel sebagai berikut :

No	Sudut θ	Sin θ
01	5^0	0.8075
02	15^0	0.2588
03	25^0	0.4226
04	35^0	0.5736
05	45^0	0.7071
06	55^0	0.8192
07	65^0	0.9063
08	75^0	0.9659
09	85^0	0.9962
10	95^0	0.9962
11	105^0	0.9659
12	115^0	0.9063
13	125^0	0.8192
14	135^0	0.7071
15	145^0	0.5736
16	155^0	0.4226
17	165^0	0.2588
18	175^0	0.0872
Jumlah		**11.4738**

Jadi harga rata-rata $= \frac{11.4738}{18}$

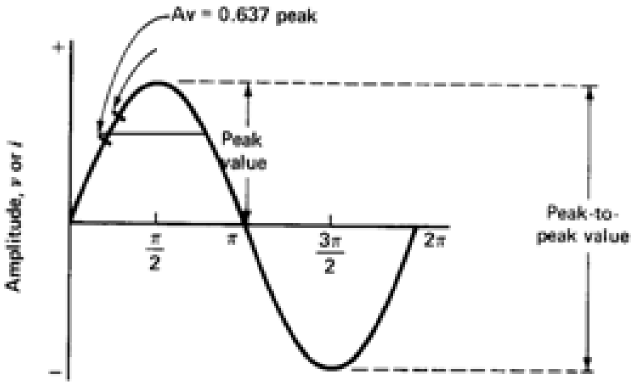
$= \mathbf{0.6374}$

Pada tabel di atas terlihat bahwa setiap harga sin θ menunjukkan harga sesaat gelombang sinus. Harga rata-rata arus dan tegangan bolak-balik gelombang sinusoida adalah sama dengan rata-rata dari harga-harga sesaat

sepanjang setengah perioda dan harga rata-rata ini sama dengan 0,637 kali harga maksimum.

U_{av} = 0,637 Um

I_{av} = 0,637 Um



Gambar 1-2.2 grafik Harga rata-rata

Contoh 1.3

Jika harga rata-rata tegangan sinusoida yang terinduksi pada suatu konduktor tertentu adalah 3 volt. Hitunglah harga maksimum tegangan dimaksud .

Jawab :

Uav = 0,637 Um

$$Um = \frac{Uav}{0{,}6375}$$

$$Um = \frac{3}{0{,}6375}$$

= 4.7 volt.

2.2 Harga Efektif (harga rms /*root mean square*)

Perlu diingat bahwa daya yang terdisipasi dari pada rangkaian dc sama dengan daya yang terdisipasi pada rangkaian ac. Pada rangkaian dc, daya = I^2 R. Dimana I adalah arus dc dalam satuan ampere dan R adalah Resistansi dalam satuan Ohm. Sedangkan pada rangkaian ac, daya = IR dimana I adalah arus ac dalam satuan ampere dan R adalah Resistansi dalam satuan ohm.

I^2 dc R = harga efektif dari i^2 R

Jika kedua arus persamaan ini dibagi dengan R maka diperoleh :

I^2 dc = harga efektif dari i^2 ac

$$I\ dc = \sqrt{\text{harga efektif dari } i^2 \text{ ac}}$$

Jadi terlihat dari persamaan ini bahwa harga arus bolak-balik I ac yang memberi efek yang sama seperti arus searah I dc untuk membangkitkan daya pada suatu rangkaian listrik adalah :

$$\sqrt{\text{harga efektif dari } i^2}$$

Harga arus ini dikenal sebagai *"root-mean-square",* dimana nilainya dapat ditentukan dengan memperhatikan tabel berikut ini :

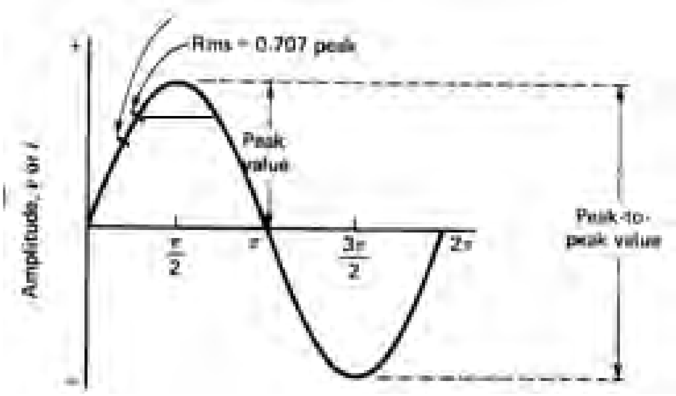
No	**Sudut** θ	**Sin** θ	**Sin** $^2\ \theta$
01	5^0	0.0872	0.0076
02	15^0	0.2588	0.0670
03	25^0	0.4226	0.1786
04	35^0	0.5736	0.3290
05	45^0	0.7071	0.5000
06	55^0	0.8192	0.6711
07	65^0	0.9063	0.8214
08	75^0	0.9659	0.9330
09	85^0	0.9962	0.9924
10	95^0	0.9962	0.9924
11	105^0	0.9659	0.9330
12	115^0	0.9063	0.8214
13	125^0	0.8192	0.6711
14	135^0	0.7071	0.5000
15	145^0	0.5736	0.3290
16	155^0	0.4226	0.1786
17	156^0	0.2588	0.0670
18	157^0	0.2588	0.0076
Jumlah			9.0002

Mean $= \dfrac{9.0002}{18}$

$= 0.5000$

Square root $= \sqrt{0.5000}$

$= 0.7071$



Gambar 1-2.3 grafik harga efektif

Harga efektif arus bolak-balik adalah arus bolak-balik yang ekivalen dengan sebuah harga arus searah yang dalam waktu yang sama dapat menimbulkan sejumlah tenaga yang sama pada tahanan yang sama

Jadi harga efektif (rms) dari tegangan atau arus bolak-balik dengan gelombang sinusoida adalah 0.7071 kali harga maksimumnya.

Jika Um dan Im masing-masing adalah harga maksimum tegangan dan arus bolak-balik maka Urms atau Uef = 0.707 Um dan I rms atau Ief = 0.707 Im

Contoh 1.4

Jika harga maksimum arus AC sinusoida adalah 60 A, berapakah harga efektif arus tersebut .

Jawab :

Lef = 0.707 x Im

= 0.707 x 60

= 42.42 A

Contoh 1.5

Sebuah kabel diisolasi untuk menahan tegangan 1000 volt DC. Hitunglah harga efektif tegangan AC sinusoidal.

Jawab :

Tegangan maksimum yang diizinkan adalah 1000 Volt.

Jadi U_m = 1000 volt

U_{ef} = 0.707 Um

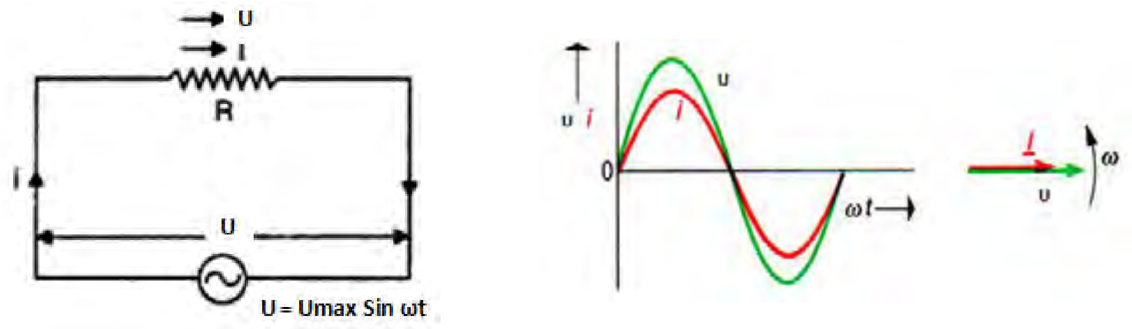
= 0.707 x 1000

= 707 Volt.

3. Respon Elemen Pasif

3.1 Pada resistor murni

Beban resistor tidak menyebabkan adanya geser fasa antara arus dan tegangan pada rangkaian ac. Apabila pada sebuah resistor diterapkan tegangan bolak-balik maka arus dan tegangan sefasa seperti ditunjukan pada gambar grafis *sinusoida* dan *vector* berikut ini :



Gambar 1-2.4 Arus dan Tegangan sefasa

Bila tegangan U = V = Um sin ωt diberikan pada rangkaian dengan tahanan R maka arus dalam rangkaian adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{\text{Um Sin } \omega t}{\text{R}}$$

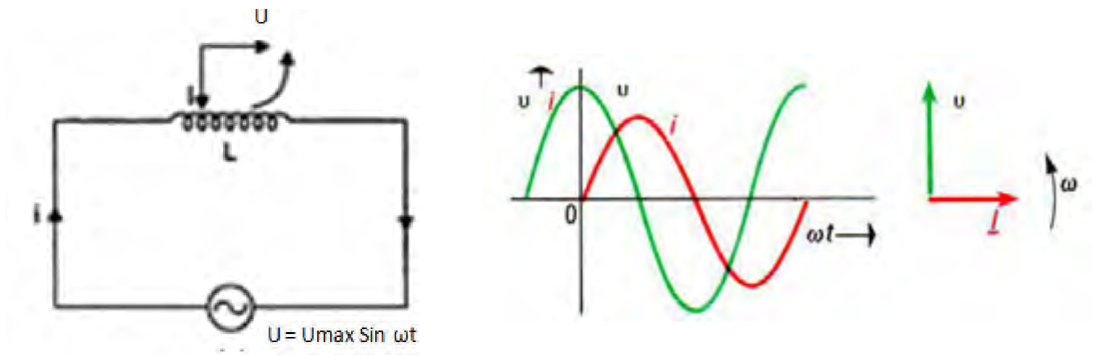
I = Im sin ωt

Dengan demikian dapat mengerti bahwa R = (Um/Im) dan gelombang arus, bersamaan fasanya dengan tegangan,atau beda fasa antara arus dan tegangan adalah nol. Bila impedansi kita nyatakan dengan Z maka impedansi untuk R adalah Z_R secara vektoritas dapat ditulis sebagai berikut :

$$Z_R = R < 0^0$$

3.2 Pada rangkaian induktansi murni (L)

Apabila arus yang berubah-ubah mengalir melewati induktor maka pada induktor tersebut terbangkit ggl. Arus ac adalah arus yang berubah-ubah. Hubungan antara arus dan tegangan suplai pada induktor dapat juga secara grafis sinusoida ditunjukkan dalam gambar berikut ini .



Gambar 1-3.1 Arus tertinggal 90° dari tegangan

Induktor dalam rangkaian ac memiliki reaktansi yang dinotasikan dengan simbol X_L, dan X_L ini mempunyai nilai sebagai berikut :

$$X_L = \frac{U}{I} \text{ Ohm}$$

Dimana : U adalah tegangan pada induktor

I adalah arus ac yang melewati induktor

Jika induktor disuplai dengan tegangan bolak balik sinusoida maka reaktansi induktif X_L = 2πfL ohm, dalam satuan Herz (Hz) dan L adalah induktansi induktor dalam satuan Henry (H).

Contoh1. 6

Sebuah *coil* memiliki induktansi 0.15 Henry.

Hitunglah arus listrik yang melewati *coil* jika *coil* tersebut diterapkan tegangan 240 volt frekuensi 50 Hz.

Jawab :

Untuk rangkaian induktif murni ;

$$I = (U / X_L)$$

$$\text{dan } XL = 2\pi fL$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.15$$

$$= 314 \times 0.15$$

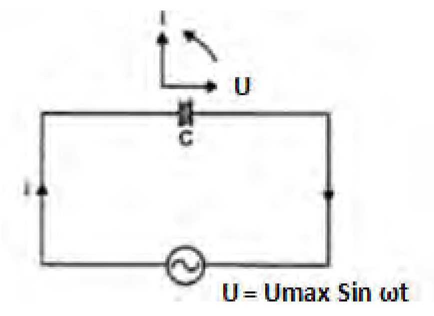
$$= 47.1 \text{ ohm}$$

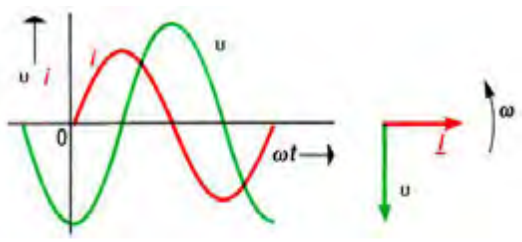
$$\text{Jadi } I = \frac{240}{47.1}$$

$$= 5.1 \text{ A}$$

3.3 Pada rangkaian kapasitor murni (C)

Hubungan antara arus dan tegangan ac pada kapasitor ditunjukkan dalam bentuk grafis dan vektoris seperti gambar berikut ini.





Gambar 1-3.2 Arus mendahului 90° dari tegangan

Terlihat dari gambar di atas bahwa arus yang melewati kapasitor memiliki fasa 90 mendahului tegangan yang diterapkan padanya.

Kapasitor dalam rangkaian ac memiliki reaktansi kapasitif yang dinotasikan dengan simbol Xc.

$$Xc = \frac{U}{I} \text{ohm}$$

Dimana : U adalah tegangan pada kapasitor.

I adalah arus pada kapasitor

Jika kapasitor disuplai dengan tegangan bolak-balik sinusoida maka reaktansi kapasitor

$$Xc = \frac{1}{2\pi fc} \text{ohm}$$

Contoh 1.7

Hitunglah nilai kapasitansi kapasitor yang dialiri arus listrik 25 A pada sumber tegangan 240 volt 50 Hz

Jawab :

$$Xc = \frac{U}{I} \text{ohm}$$

$$Xc = \frac{240}{25} \text{ohm}$$

$$Xc = 9{,}6\Omega$$

Jadi C $= \dfrac{1}{2\pi \, Xc}$

$= \dfrac{1}{2x3.14 \ x \ 50 \ x \ 9.6}$ (F)

$$= \frac{106}{314 \text{ X } 9.6} (\mu F)$$

$$= 332 \mu F$$

4. Rangkaian arus Bolak-Balik Seri dan Paralel

4.1 Rangkaian Arus bolak-balik dengan Tahanan

Gambar 1-4.1, memperlihatkan rangkaian hanya terdiri dari sebuah tahanan (R) dan anggaplah dihubungkan dengan sumber tegangan *v* :

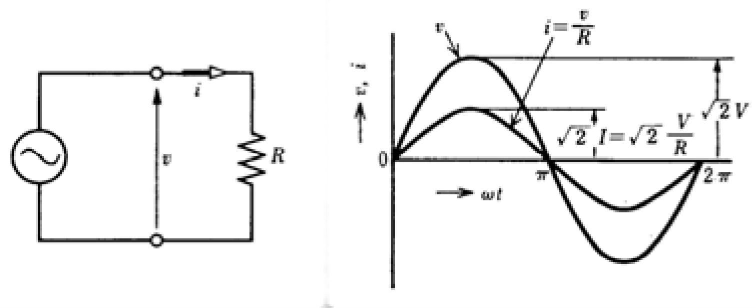
$$v = \sqrt{2} V \sin \omega t$$

sehingga mengalir arus (i) :

Dari persamaan di atas, $\sqrt{2}\, V/R$ merupakan arus maksimum (I_m).

Sehingga nilai efektifnya I (A) menjadi persamaan sebagai berikut :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{V}{R}(A)$$

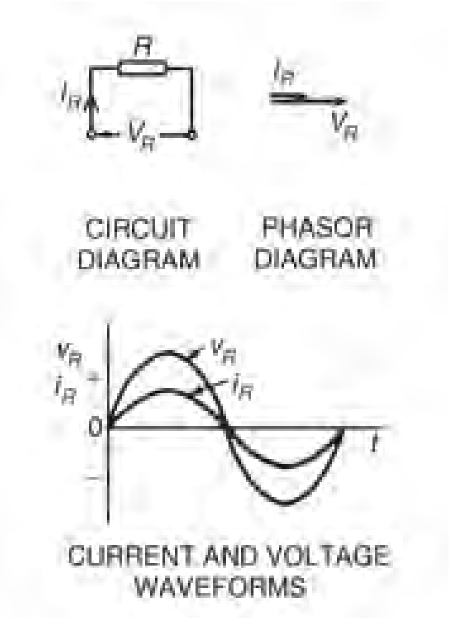


Gambar 1-4.1. Rangkaian dengan tahanan.

Gambar 1-4.1b memperlihatkan bentuk gelombang hubungan v dan I pada saat itu. Dengan demikian pada rangkaian terdiri dari tahanan yang disuplai oleh tegangan

bolak-balik, tegangannya sefasa dengan arus yang mengalir, besarnya seperti yang dituliskan pada persamaan di atas, sama halnya pada rangkaian arus searah.

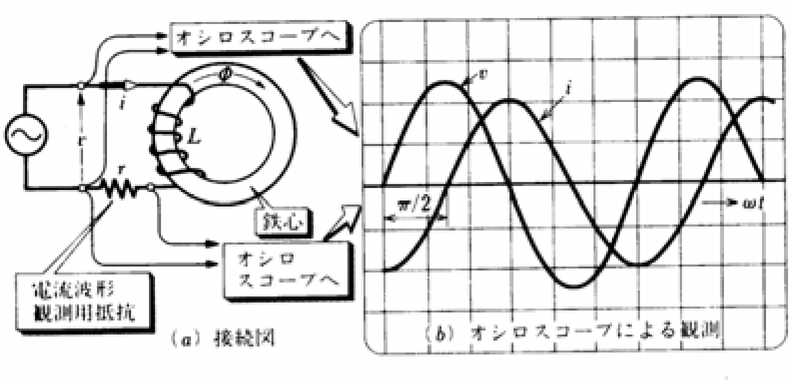
Hubungan arus dan tegangan bila digambarkan secara vektor diperlihatkan pada gambar 1-4.2



Gambar 1-4.2 Hubungan arus dan tegangan

4.2 Rangkaian dengan Induktansi

Rangkaian yang terlihat pada gambar 1-4.3 adalah kumparan induktansi L (H) disuplai oleh tegangan bolak-balik *v* (V), hubungan tegangan *v* dan arus *i* (A) yang mengalir dapat dilihat dengan oscilloscope.



Gambar 1-4.3. Rangkaian dengan induktasi.

Arus i yang mengalir melalui kumparan L, adalah tertinggal π/r rad dari tegangan v. Misalnya pada gambar 1-4.3 arus bolak-balik yang mengalir pada kumparan induktansi L adalah :

$$i = \sqrt{2}\, I \sin \omega t \,(A)$$

Apabila sebuah kumparan dengan induktansi sebesar L (H) disuplai dengan arus bolak-balik, maka pada kumparan tersebut akan terbangkit ggl induksi sebesar :

$$v = -e_L = L\frac{di}{dt}$$

Dari persamaan $v = \sqrt{2}\ \omega L I \sin(\omega t + \pi/2)$ dapat dipahami bahwa tegangan v akan mencapai harga maksimum pada saat $\sin(\omega t + \pi/2) = 1$ sehingga :

$$V_m = \sqrt{2}\,\omega L I (V)$$

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \omega L I (V)$$

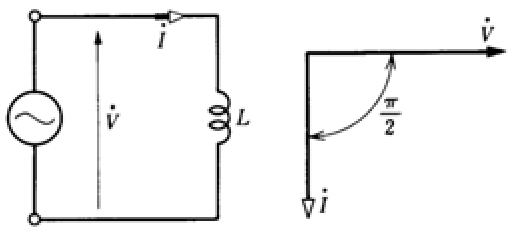
Jadi :

$$I = \frac{V}{\omega L}(A)$$

$$\frac{V}{I} = \omega L (\Omega)$$

Besaran ωL disebut sebagai reaktansi induktif dan dinotasikan X_L.

Hubungan V dan I dapat digambarkan secara vektor seperti yang terlihat pada gambar 1-4.4.



Gambar 1-4.4. Hubungan antara v dan i secara vektor.

Contoh 1.7

(a) Hitung reaktansi kumparan pada induktansi 0.32 H jika dihubungkan pada sumber tegangan dengan frekuensi 50 Hz, (b) kumparan dengan reaktansi 124 Ω pada suatu rangkaian dengan frekuensi sumber 50 kHz. Tentukan induktansi kumparan.

(a) Reaktansi induktif,

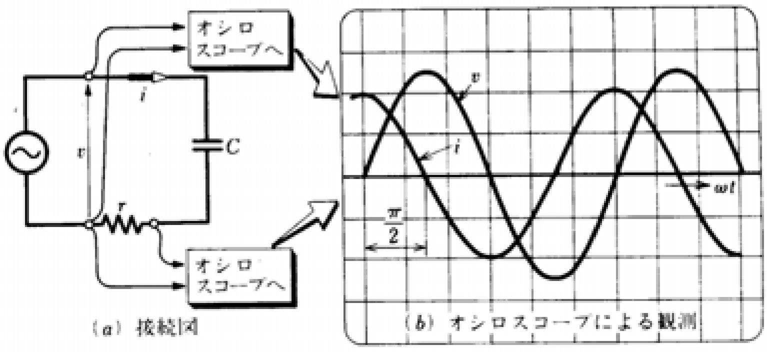
$$X_L = 2\pi f L = 2\pi(50)(0.32) = 100.5\Omega$$

(b) Induktansi,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{124}{2\pi(5000)} H = 3.95H$$

4.3 Rangkaian dengan Kapasitor

Rangkaian yang terlihat pada gambar 1-4.5 adalah kapasitansi (c) disuplai oleh tegangan bolak-balik v (V), hubungan tegangan (v) dan arus i (A) yang mengalir dapat dilihat dengan oscilloscope.



Gambar 1-4.5. Rangkaian dengan kapasitor.

Arus i yang mengalir melalui kapasitor C adalah mendahului π/2 rad dari tegangan v. Misalkan pada gambar 1-4.5, tegangan bolak-balik yang disuplai pada kapasitor C adalah :

$$v = \sqrt{2}V \sin \omega t(V) \qquad (1)$$

Maka besarnya muatan listrik q pada kapasitor dapat dihitung sebagai berikut :

$$q = Cv = \sqrt{2}CV \sin \omega t \qquad (2)$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir adalah :

$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{dv}{dt} \qquad (3)$$

$$i = \sqrt{2}\,\omega CV \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)(A) \quad (4)$$

Jika persamaan (4) dengan persamaan (1) jelas terlihat bahwa antara arus dan tegangan terdapat geseran fasa. Dalam hal ini arus mendahului (leading) terhadap tegangan sejauh π/2 (rad) atau dengan kata lain tegangan tertinggal (lagging) dari arus sejauh π/2 rad. Adapun bentuk gelombang sesaat (grafik sinusoidal) dapat dilukiskan seperti gambar 2-5.

Dari persamaan I = √2 ωCV sin (ωt + π/2) dapat diketahui bahwa pada saat sin(ωt + π/2) = 1 harga arus mencapai maksimum, sehingga :

$$I_m = \sqrt{2}\,\omega\, CV\,(A)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \omega CV = \frac{V}{1/\omega C}$$

Besaran 1/ωC disebut sebagai reaktansi kapasitif yang dinotasikan dengan X_c, jadi X_c = 1/ωc.

Karena : ω = 2 π f

Maka : $X_c = \dfrac{1}{2\pi f c}$

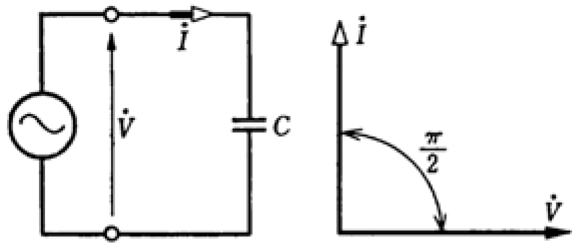
Dimana :

X_c = Reaktansi kapasitif (Ω)

f = Frekuensi (Hz)

C = kapasitas (F)

Hubungan *V* dan *I* dapat digambarkan secara vektor yang diperlihatkan pada gambar 1-4.6.



Gambar 1-4.6. Hubungan v dan i secara vektor.

Contoh soal 1.8 : tentukan reaktansi kapasitif pada kapasitor 10 μF bila dihubungkan pada rangkaian dengan frekuensi (a) 50 Hz (b) 20 kHz.

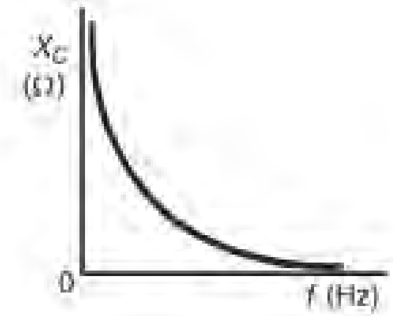
(a). Reaktansi kapasitif pada frekuensi 50 Hz,

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(50)(10x10^{-6})} = \frac{10^{-6}}{2\pi(50)(10)} = 318.3\Omega$$

(b). Reaktansi kapasitif pada frekuensi 20 kHz,

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(20x10^{3})(10x10^{-6})} = \frac{10^{-6}}{2\pi(20x10^{3})(10)} = 0.796\Omega$$

Sehingga frekuensi naik dari 50 Hz ke 20 kHz, X_C turun dari 318.3 Ω sampai 0.796 Ω (lihat gambar 1-4.7).



Gambar 1-4.7.

4.4 Rangkaian Seri R dan L

Pada gambar 1-4.8, tahanan R (Ω) dann induktansi L (H) dihubungkan seri yang disuplai oleh tegangan bolak-balik V (v) sehingga mengalir arus I (A), tegangan V_R

(v) diantara terminal R adalah seperti ysng telah kita pelajari sebelumnya sefasa dengan arus I, dimana besarnya adalah :

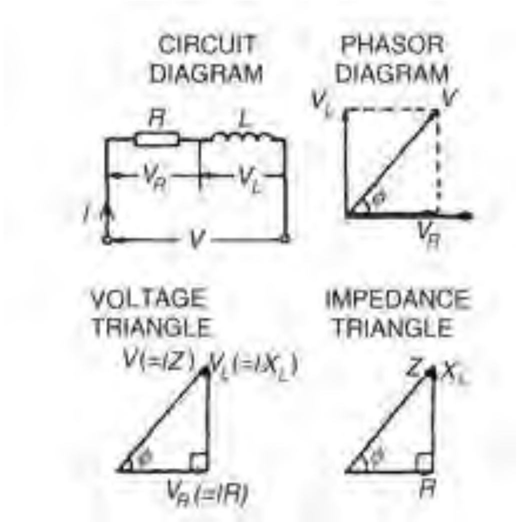
$$V_R = RI\,(V)$$

Tegangan V_L (v) diantara terminal L adalah seperti yang telah kita pelajari sebelumnya, mendahului terhadap arus sejauh $\pi/2$ rad, dimana besarnya adalah :

$$V_L = X_L I = \omega LI(V)$$

Jumlah tegangan (V) dari gambar 1-4.8 dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$V = V_R + V_L$$



Gambar 1-4.8. Rangkaian seri RL.

Hubungannya dapat digambarkan secara vektor diagram seperti yang diperlihatkan pada gambar 1-4.8 b. Besaran tegangan (V) dari vektor diagram menjadi :

$$V = \sqrt{V_R^{\ 2} + V_L^{\ 2}}$$
$$= \sqrt{(RI)^2 + (X_L I)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^{\ 2}}$$

Jadi besarnya arus I :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L^{\ 2}}} \qquad (A)$$

Dimana, perbedaan fasa φ V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{V_L}{V_R} = \tan^{-1}\frac{X_L}{R}(rad)$$

Sehingga, pada rangkaian seri R dan L, arus I tertinggal dari tegangan V sejauh

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{X_L}{R}(rad),$$

besarnya seperti yang dituliskan pada persamaan diatas.

Contoh 1.8

Suatu kumparan mempunyai 4 Ω dan induktansi 9.55 mH. Hitung (a) reaktansi, (b) impedansi dan (c) arus dengan sumber tegangan 240V, 50Hz. Tentukan juga sudut perbedaan phasa antara tegangan sumber dan arus.

$R = 4\Omega, L = 9.55\ mH = 9.55x10^{-3}H, f = 50\ Hz, V = 240V$

(a) Reaktansi induktif,

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi(50)(9.55x10^{-3}) = 3\Omega$$

(b) Impedansi,

$$Z = \sqrt{(R^2 + X_L{}^2)} = \sqrt{(4^2 + 3^2)} = 5\Omega$$

(c) Arus,

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{240}{5} = 48A$$

Phasor diagram dan segitiga tegangan dan impedansi seperti yang ditunjukan pada gambar 1-4.8.

$$\tan\phi = \frac{X_L}{R}, \phi = arctan\frac{X_L}{R} = arctan\frac{3}{4} = 36^0.52'\ tertinggal$$

4.5 Rangkaian Seri R dan C

Pada gambar 1-4.9, tahanan R (Ω) dan kapasitor C (F) dihubungkan seri yang disuplai oleh tegangan bolak-balik v (V) dengan frekuensi f (Hz), sehingga mengalir

arus I (A), tegangan V_R (V) diantara terminal R sefasa dengan arus I dimana besarnya adalah :

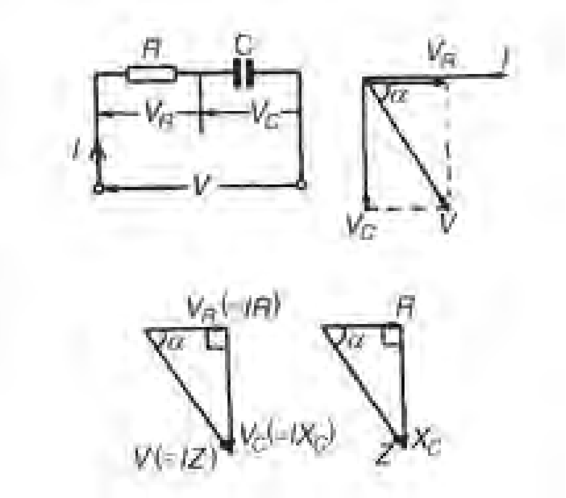
$$V_R = RI\,(V)$$

Tegangan V_c diantara terminal C adalah seperti yang telah kita pelajari sebelumnya, tertinggal terhadap arus sejauh $\pi/2$ rad, dimana besarnya adalah :

$$V_c = X_c I = \frac{1}{\omega C} I\,(v)$$

Jumlah tegangan V, dari gambar 1-4.9, dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$V = V_R + V_c$$



Gambar 1-4.9. Rangkaian seri RC.

Hubungannya dapat digambarkan secara vektor diagram seperti yang diperlihatkan pada gambar 1-4.9. Besarnya tegangan V dari vektor diagram menjadi :

$$V = \sqrt{V_R^{\,2} + V_c^{\,2}}$$
$$= \sqrt{(RI)^2 + (X_c I)^2} = I\sqrt{R^2 + X_c^{\,2}}$$

Jadi besarnya arus I :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_c^{\,2}}} \qquad (A)$$

dimana, perbedaan fasa φ V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{V_c}{V_R} = \tan^{-1}\frac{X_c}{R}(rad)$$

Sehingga pada rangkaian seri R dan C,arus I mendahului dari tegangan sejauh,

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{X_c}{R}(rad)$$

besarnya seperti yang dituliskan pada persamaan diatas.

Contoh soal 4 : Suatu resistor 25Ω dihubungkan seri dengan kapasitor 45 μF. Hitung (a) impedansi dan (b) arus pada sumber tegangan 240V, 50Hz. Tentukan juga sudut perbedaan phasa antara tegangan sumber dengan arus.

$$R = 25\Omega, C = 45\mu F = 45x10^{-6}F, V = 240V, f = 50Hz$$

Diagram rangkaian seperti yang ditunjukan pada gambar 1-4.9.

Reaktansi kapasitif,

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(50)(45x10^{-6})} = 70.74\Omega$$

(a) Impedansi,

$$Z = \sqrt{(R^2 + X_C{}^2)} = \sqrt{[(25)^2 + (70.74)^2]} = 75.03\Omega$$

(b) Arus,

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{240}{75.03} = 3.20A$$

Sudut perbedan phasa antara tegangan sumber dan arus,

$$\varphi = arctan\left(\frac{X_C}{R}\right) = arctan\left(\frac{70.74}{25}\right) = 70^0 32' \; mendahului$$

(medahului artinya arus mendahului tegangan, maka arah phasor berlawanan dengan jarum jam).

4.6 Rangkaian Seri R L C

Pada gambar 1-4.10, tahanan *R* (Ω), induktansi *L (H)* kapasitor *C (F)* dihubungkan seri yang disuplai oleh tegangan bolak-balik *V(V)* dengan frekuensi *f (Hz)* sehingga pada rangkaian tersebut mengalir arus *I (A)*, besarnya masing-masing tegangan V_R, V_L, V_C *(V)* adalah :

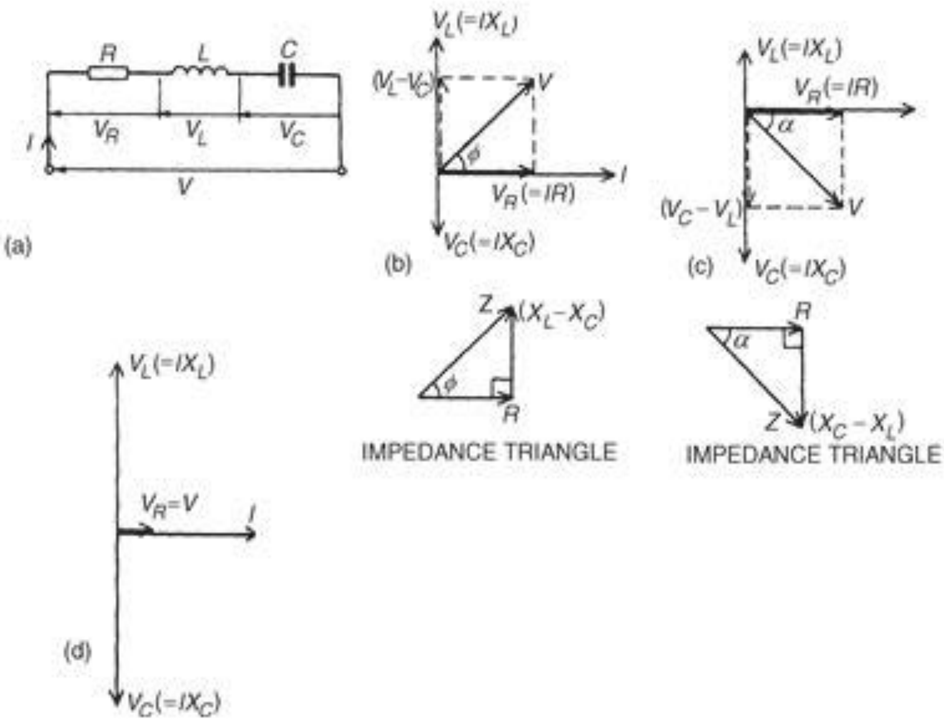
$V_R = RI$ *(V)* (sefasa terhadap arus I)

$V_L = X_L I = \omega LI$ *(V)* (mendahului $\pi/2$ (rad) terhadap arus I)

$V_C = X_C L = I/\omega CI$ *(V)* (terbelakang $\pi/2$ rad terhadap arus I)

Jumlah tegangan V, dari gambar 1-4.10a, dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$V = V_R + V_L + V_C$$



Gambar 1-4.10. Rangkaian seri RLC.

Hubungannya seperti yang diperlihatkan pada gambar 1-4.10b pada saat $X_L > X_C$ sedangkan gambar 2-10c pada saat $X_C > X_L$. Dari gambar vector ini besarnya tegangan V menjadi :

$$V = \sqrt{VR^2} + (V_L - V_C)^2 = I\sqrt{R^2} + (X_L - X_C)^2 (V)$$

Jadi besarnya arus I adalah :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} (A)$$

edangkan impedansi Z (Ω) adalah :

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} (\Omega)$$

$$X = |X_L - X_C| = \left|\omega L - \frac{1}{\omega C}\right| (\Omega)$$

dimana,

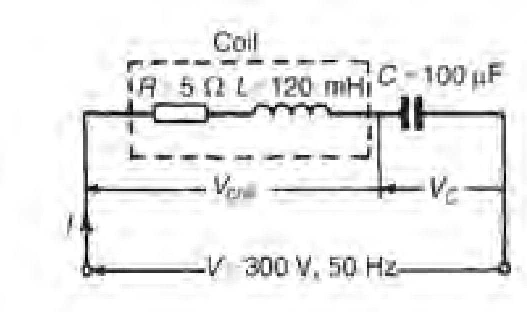
Dari persamaan di atas, $X = /X_L - X_C/ (\Omega)$ disebut jumlah reaktansi, pada saat $X_L > X_C$ jumlah reaktansi bersifat induktip, pada saat $X_L < X_C$ jumlah reaktansi bersifat kapasitip. Dimana hubungan antara *Z, R,* X_L, X_C dilukiskan seperti gambar 2-10.

Contoh 1.9

resistansi kumparan 5 Ω dan induktansi 120 mH dihubungkan seri dengan kapasitor 100 μF, dihubungkan pada sumber tegangan 300 V, 50 Hz.

Hitunglah : (a) arus yang mengalir, (b) perbedaan phasa antara sumber tegangan dengan arus, (c) tegangan pada kumparan dan (d) tegangan pada kapasitor.

Rangkaian diagram seperti yang ditunjukan pada gambar 1-4.11,



Gambar 1-4.11.

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi(50)(120x10^{-3}) = 37.70\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(50)(100x10^{3})} = 31.83\Omega$$

Maka X_L lebih besar dari X_C berarti rangkaian induktif.

$X_L - X_C = 37.70 - 31.83 = 5.87\Omega$

$Z = \sqrt{[R^2 + (X_L - X_C)^2]} = \sqrt{[(5)^2 + (5.87)^2]} = 7.71\Omega$

(a) Arus,

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{300}{7.71} = 38.91A$$

(b) Perbedaan phasa,

$$\Phi = \arctan\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) = arctan\frac{5.87}{5} = 49^0 35'$$

(c) Impedansi kumparan,

$$Z_{COIL} = \sqrt{(R^2 + X_L{}^2)} = \sqrt{[(5)^2 + (30.70)^2]} = 30.03\Omega$$

Tegangan pada kumparan,

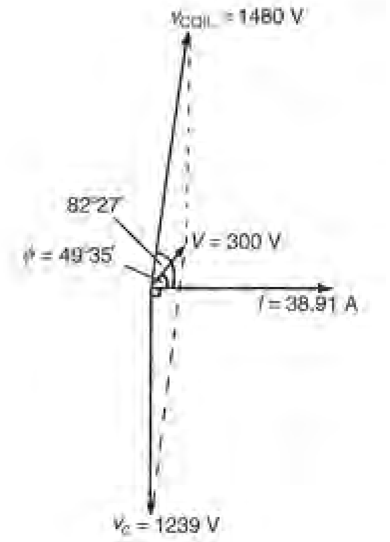
$$V_{COIL} = IZ_{COIL} = (38.91)(31.03) = 1480V$$

$$\phi = arctan\frac{X_L}{R} = arctan\left(\frac{37.70}{5}\right) = 82^0 27' \ tertinggal$$

(d) Tegangan pada kapasitor,

$$V_C = IX_C = (38.91)(38.03) = 1293V$$

Diagram phasor ditunjukan pada gambar 1-4.12. Sumber tegangan V adalah perjumlahan phasor dari V_{COIL} dan V_C.



Gambar 1-4.12.

4.7 Rangkaian Paralel R dan L

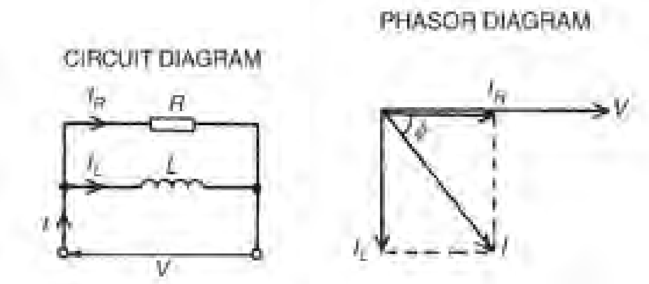
Pada gambar 1-4.13a, tahanan R (Ω) dan induktansi L (H) dihubungkan paralel disuplai oleh tegangan bolak-balik V (v) dengan frekuensi f (Hz) sehingga mengalir arus I_R, I_L pada tahanan R (Ω) dan induktansi L (H) maka persamaannya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$I_R = \frac{V}{R}(A)\ (sefasa\ dengan\ tegangan\ V)$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{\omega L}(A)\ \left(tertinggal\ \frac{\pi}{2}\ rad\ terhadap\ tegangan\right)$$

Sehingga arus I (A) pada rangkaian tersebut menjadi : $I = I_R + I_L$

Hubungannya bila dilukiskan secara vektor diagram seperti yang terlihat pada gambar 1-4.13b.



Gambar 1-4.13. Rangkaian paralel RL.

Besarnya arus I dari diagram vektor dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$I = \sqrt{I_R^{\,2} + I_L^{\,2}} = \sqrt{\left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_L}\right)^2} = V\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$$

Jadi jumlah impedansi Z (Ω) adalah :

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L)^2}}(\Omega)$$

Dari gambar 3-1b. Perbedaan fasa φ antara V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{I_L}{I_R} = \tan^{-1}\frac{1/X_L}{1/R}$$

Contoh 1.10

Resistor 20Ω dihubungkan paralel dengan induktansi 2.387mH disuplai oleh sumber tegangan 60V, 1kHz.

Hitung : (a) arus di masing-masing cabang, (b) arus sumber, (c) sudut phasa rangkaian, (d) impedansi rangkaian.

Rangkaian dan phasor diagram ditunjukan pada gambar 3-1.

(a) Arus yang mengalir pada resistor,

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{60}{20} = 3A$$

Arus yang mengalir pada induktansi,

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{2\pi f L} = \frac{60}{2\pi(1000)(2.387x10^{-3})} = 4A$$

(b) Dari phasor diagram, arus sumber,

$$I = \sqrt{(I_R^{\,2} + I_L^{\,2})} = \sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5A$$

(c) Sudut phasa rangkaian,

$$\phi = arctan\frac{I_L}{I_C} = arctan\frac{4}{3} = 53^0 8' \ tertinggal$$

(d) Impedansi rangkaian,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{60}{5} = 12\Omega$$

4.2 Rangkaian Paralel R, L dan C

Pada gambar 1-4.14a, tahanan R (Ω), inuktansi L (H) dan kapasitor C (F) dihubungkan paralel disuplai oleh tegangan bolak-balik V (V) dengan demikian frekuensi f (Hz) sehingga mengalir arus masing-masing I_R, I_L, I_C maka persamaannya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$I_R = \frac{V}{R}(A) \qquad (sefasa\ dengan\ tegangan)$$

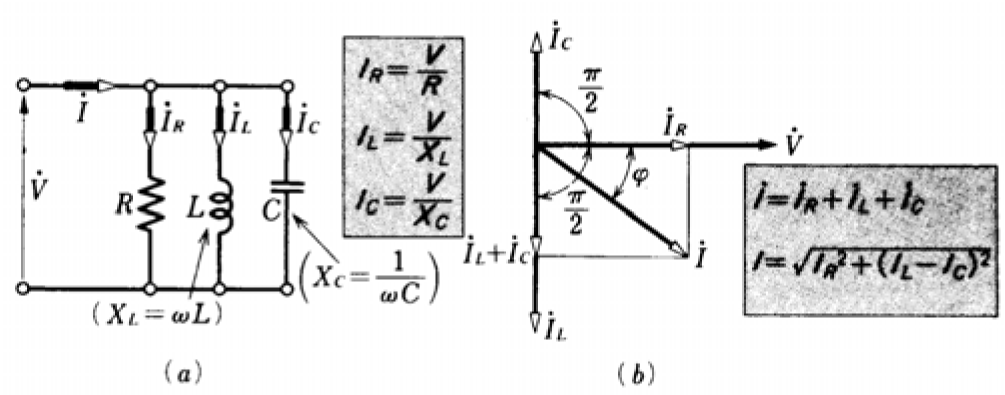
$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{\omega L}(A) \qquad (tertinggal\ \pi/2\ rad\ terhadap\ tegangan)$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \omega CV\,(A) \qquad (mendahului\ \pi/2\ rad\ terhadap\ tegangan)$$

Sehingga, jumlah arus I (A) pada rangkaian tersebut menjadi :

$$I = I_R + I_L + I_C$$

Hubungannya bila dilukiskan secara vektor diagram, seperti yang diperlihatkan pada gambar 1-4.14b.



Gambar 1-4.14. Rangkaian paralel RLC.

Besarnya arus I dari diagram vektor dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$I = \sqrt{I_R^{\,2} + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{(V/R)^2 + (V/X_L - V/X_C)^2}$$
$$= V\sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L - 1/X_c)^2}$$

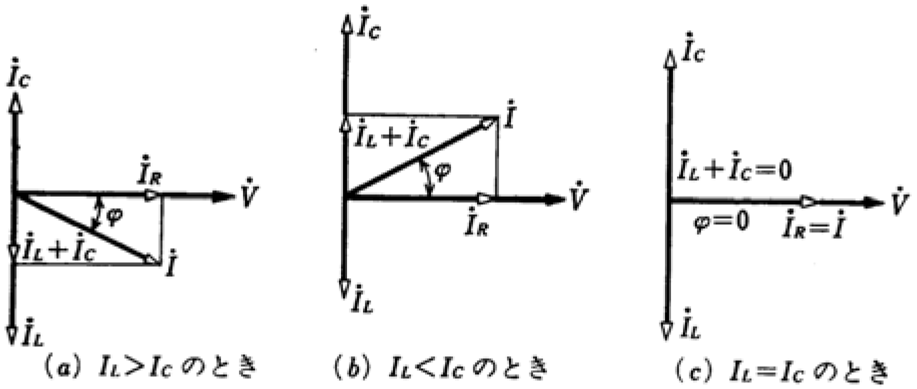
Jadi jumlah impedansi Z (Ω) adalah :

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L - 1/X_C)^2}}(\Omega)$$

Dari gambar 1-4.14b, perbedaan fasa φ antara V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{I_L - I_C}{I_R} = \tan^{-1}\frac{1/X_L - 1/X_C}{1/R}$$

Dari gambar 1-4.14b juga dapat dimengerti bahwa pada saat $I_L > I_C$ arus tertinggal, pada saat $I_L < I_C$ arus mendahului. Sedangkan pada saat $I_L = I_C$ arus sefasa. Hubungannya seperti yang diperlihatkan pada gambar 1-4.15.



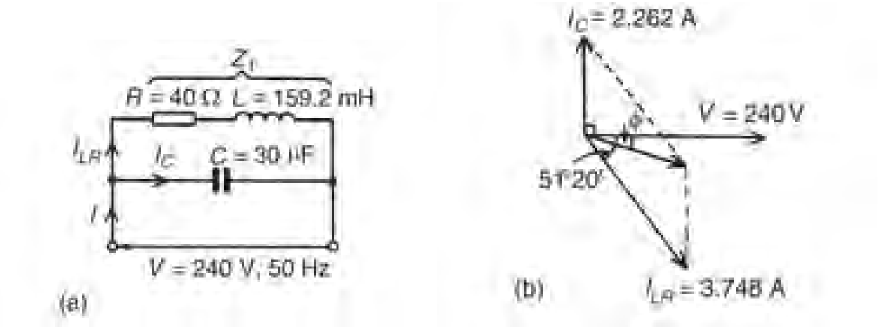
Gambar 1-4.15.

Contoh 1.11

Induktansi kumparan 159.2mH dan resistansi 40Ω dihubungkan paralel dengan kapasitor 30 μF disuplai oleh sumber tegangan 240V, 50Hz.

Hitung : arus pada kumparan dan sudut phasanya, (b) arus pada kapasitor dan sudut phasanya, (c) impedansi rangkaian.

Rangkaian diagram ditunjukan pada gambar 1-4.16.



Gambar 1-4.16

(a) Reaktansi induktif kumparan,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(159.2x10^{-3}) = 50\Omega$$

$$Z_1 = \sqrt{(R^2 + X_L{}^2)} = \sqrt{40^2 + 50^2} = 64.03\Omega$$

$$I_{LR} = \frac{V}{Z_1} = \frac{240}{64.03} = 3.748A$$

$$\phi_1 = arctan\frac{X_L}{R} = arctan\left(\frac{50}{40}\right) = \arctan 1.25 = 51^0 20'\ tertinggal$$

(lihat diagram phasor pada gambar gambar 1-4.16b.)

(b) Reaktansi kapasitif,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(30x10^{-6})} = 106.1\Omega$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{240}{106.1} = 2.262A\ mendahului\ sumber\ tegangan\ 90^0$$

(lihat diagram phasor pada gambar 3-4b.)

(c) Arus sumber I adalah perjumlahan phasor dari I_{LR} dan I_C. disini dapat digambarkan diagram phasor melalui pengkuran dan skala arus I dan sudut phasa relatif terhadap V. (arus I akan selalu menjadi diagonal seperti gambar 1-4b).

Alternatif lain arus I_{LR} dan I_C dapat diuraikan kembali kedalam komponen horizontal dan vertikal. Komponen horizontal I_{LR} adalah,

$$I_{LR}\cos(51^0 20') = 3.748\ cos51^0 20' = 2.342A$$

Komponen horizontal I_C adalah $I_C cos 90^0 = 0$

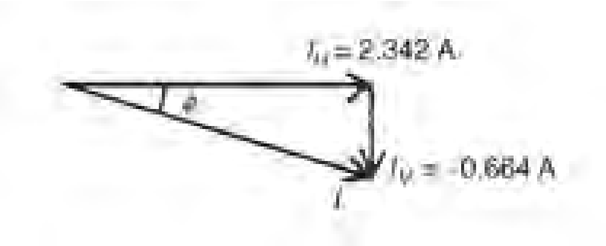
Jadi total komponen horizontal, $I_H = 2.342A$

Komponen vertikal,

$I_{LR} = -I_{LR}\sin(51^0 20') = -3.748 sin 51^0 20' = -2.962A$

$I_C = I_C sin 90^0 = 2.262 sin 90^0 = 2.262A$

Jadi total koponen vertikal, $I_V = -2.962 + 2.262 = -0.664A$



Gambar 1-4.17.

I_H dan I_V ditunjukan pada gambar 1-4.17, dari disini,

$I = \sqrt{[(2.342)^2 + (-0.664)^2]} = 2.434A$

$\phi = arctan\left(\frac{0.664}{2.342}\right) = 15^0 50'$

sehingga arus sumber, $I = 2.434A\ tertinggal\ terhadap\ V\ 15^0 50'$

(d) Impedansi rangkaian,

$Z = \frac{V}{I} = \frac{240}{2.434} = 98.60\Omega$

5. Resonansi

Resonansi pada umumnya terjadi jika gelombang mempunyai frekuensi yang sama dengan atau mendekati frekuensi alamiah, resonansi adalah suatu gejala yang terjadi pada suatu rangkaian AC yang mengandung elemen induktor dan kapasitor.

Resonansi pada rangkaian AC terjadi jika reaktansi induktif (X_L) sama dengan reaktansi kapasitif (X_C). Dalam suatu rangkaian yang mengandung unsur induktif dan kapasitif, terdapat suatu harga frekuensi yang menyebabkan reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif

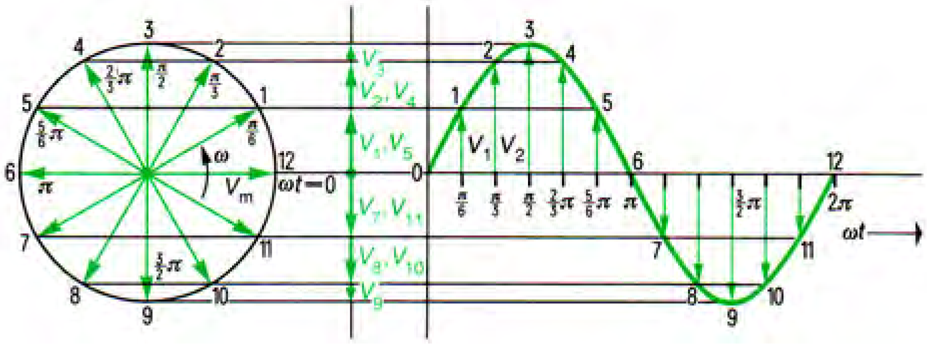
saling menghilangkan, sehingga didapat karakteristik rangkaian sebagai resistor murni maka tegangan dan arus rangkaian menjadi sefasa. Resonansi pada rangkaian seri dinamakan resonansi seri dan resonansi pada rangkaian paralel dinamakan resonansi paralel.

Seperti telah disinggung bahwa resonansi terjadi pada saat UL = UC

5.1 Diagram Fasor

Fasor adalah sebuah vektor yang berotasi dalam arah yang berlawanan dengan arah perputaran jarum jam dengan laju sudut ω konstan yang sama dengan frekuensi sudut dari gerak sinusoidal.

Gambaran yang jelas dari besaran arus bolak-balik dapat diberikan pada diagram fasor yang ditunjukkan dengan vektor fasa yaitu didapat dari penjabaran gerak lingkaran sebuah panah(vektor) yang berputar. Tegangan bolak-balik digambarkan sebagai fasor yang memiliki ukuran panjang yang sesuai dengan nilai puncak V_m.



Gambar 1-5.1 Gambar penjabaran lingkaran vektor

Untuk menggambar vektor,panjang vektor diambil dari harga efektif gelombang, sedangkan arah perputaran vektor , digambar berlawanan dengan arah jarum jam.

Diketahui bahwa kecepatan sudut berlaku **$\omega = 2\pi \cdot f$ rad**, maka dengan demikian, sudut yang ditempuh pada suatu waktu t didapat **$\alpha = \omega \cdot t$.**

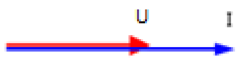
Tegangan bolak-balik pada setiap momen waktu t memiliki nilai sesaat

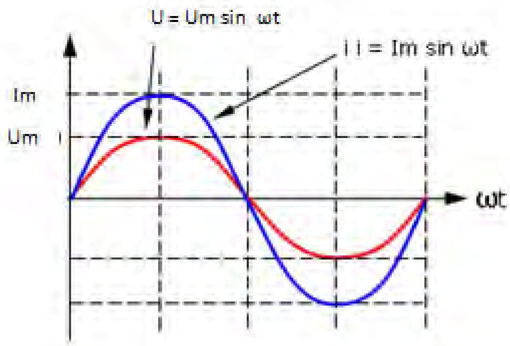
$$V = U = U_m \sin \alpha$$

Mengingat α = ω . t, maka :

$$V = U = Um \sin \omega . t$$

Contoh Penggambaran tegangan bolak-balik ataupun arus bolak-balik melalui vektor boleh dikatakan merupakan versi lebih singkat dari diagram bentuk gelombang. Diagram fasor memberikan informasi yang sama seperti diagram bentuk gelombang.



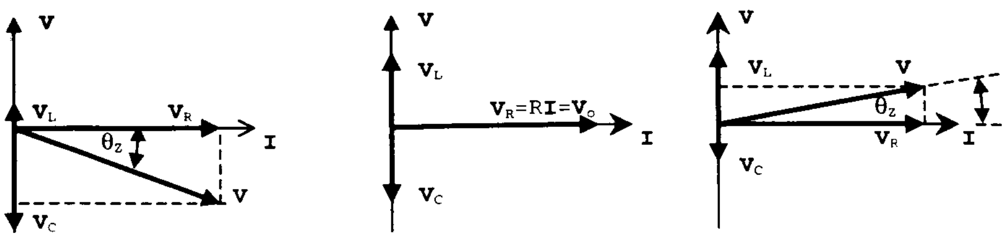


Gambar Diagram Fasor   Gambar Diagram bentuk gelombang

Gambar 1-5.2 Diagram fasor dan Diagram bentuk gelombang

5.2 Diagram Fasor Resonansi Seri

Pada rangkaian RLC seri arus sefase dengan tegangannya. dalam unsur resistif, mendahului dalam unsur kapasitif dan tertinggal dalam unsur induktif, maka dapat dibuat diagram fasor untuk rangkaian RLC seri seperti diperlihatkan gambar 1-5.3.

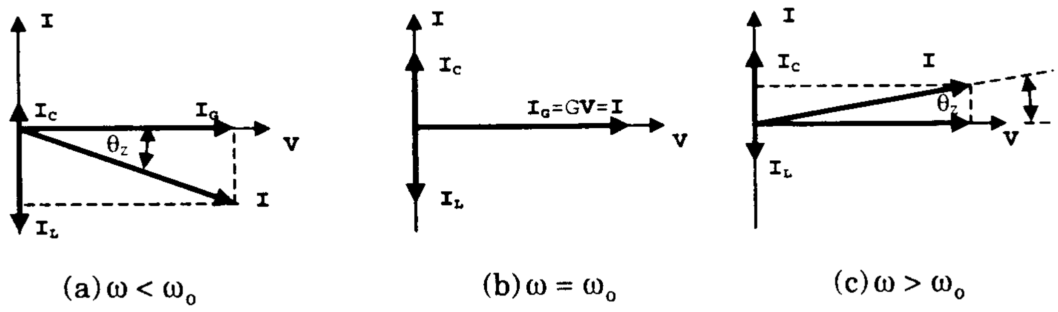


(a)ω<ωo   (b)ω=ωo   (c)ω>ωo

Gambar 1-5.3 Diagram Fasor untuk rangkaian RLC seri.

5.3 Diagram Fasor Resonansi Paralel.

Pada rangkaian RLC paralel tegangan sefasa dengan arusnya dalam unsur resistif, mendahului dalam unsur induktif dan tertinggal dalam unsur kapasitif, maka dapat dibuat interpretasi diagram fasor untuk rangkaian RLC paralel seperti diperlihatkan gambar 1-5.4.



Gambar 1-5.4 Diagram Fasor untuk rangkaian RLC paralel

6. Daya dan Faktor daya

6.1 Daya arus bolak balik

Dalam rangkaian arus searah besarnya daya yang diserap dalam suatu beban listrik ditentukan oleh nilai tahanan beban serta besar arus yang mengalir pada beban tersebut. Pada rangkaian DC, daya dalam watt merupakan perkalian antara arus (I) dan tegangan (U). Jadi P = UI. Tetapi dalam rangkaian AC, persamaan P = UI hanya benar untuk harga sesaat saja atau kondisi tertentu yaitu pada saat arus dan tegangan sefasa (beban resistif). Tetapi dalam banyak hal beban-beban listrik tidak hanya terdiri dari resistansi saja, melainkan kombinasi dari beberapa jenis tahanan. Misalnya resistansi dengan reaktansi induktif, resistansi dengan reaktansi kapasitif atau kombinasi dari ketiganya. Oleh sebab itu dapat di pastikan dalam banyak kondisi pada rangkaian arus bolak-balik akan terjadi geseran fasa antara arus dan tegangan. Hal ini akan mempengaruhi perhitungan daya , dimana perkalian antara arus dan tegangan belum menghasilkan daya nyata dalam watt, tetapi merupakan daya semu.

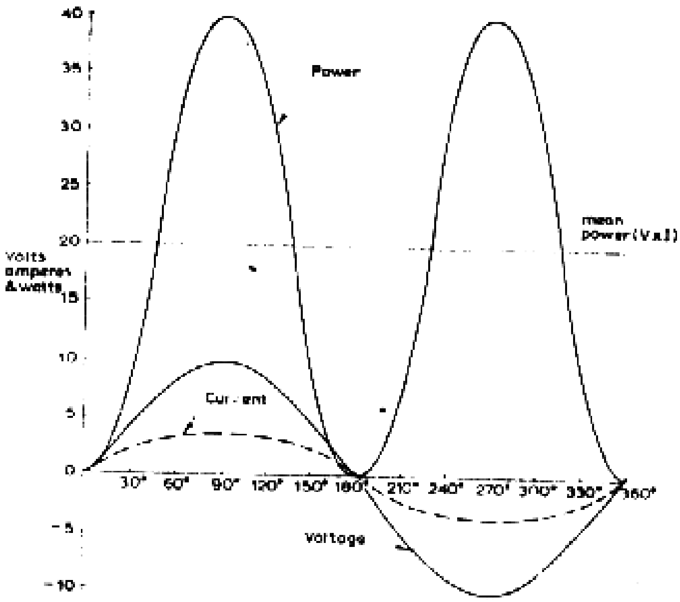
6.2 Daya pada Rangkaian Resistor Murni

Apabila suatu sumber tegangan bolak balik diterapkan pada resistor murni maka arus listrik yang mengalir melewati Resistor itu sefasa dengan tegangan yang diterapkan padanya. Daya dalam watt setiap saatnya dapat diperoleh dengan mengalikan arus dan tegangan pada setiap saatnya, seperti dalam table berikut ini.

ϕ	v = V max sin ϕ volts	I= I max sin ϕ amperes	p = vi watts
0^0	10 x 0 = 0	4 x 0 = 0	0 X 0 = 0
30^0	10 x 0,5 = 5	4 x 0.5 = 2	5 X 2 = 10
60^0	10 x 0.866 = 8.99	4 x 0.866 = 3.46	8.66 X 3.46 = 30
90^0	10 x 1 = 10	4 x 1 = 4	10 X 4= 40
120^0	10 x 0.866 = 8.66	4 x 0.866 = 3.46	8.66 X 3.46 = 30
150^0	10 x 0.5 = 5	4 x 0.5 = 2	5 X 2 = 10
180^0	10 x 0 = 0	4 x 0 = 0	0 X 0 = 0
210^0	10 x (-0.5) = -5	4 x (- 0.5) = -2	(- 5) X (- 2) = 10
240^0	10 x (-0.866 = -8.66	4 x (-0.866) = - 3.46	(-8.66) X (-3.46) = 30
270^0	10 x (-1) = -10	4 x (- 1) = -4	(-10) X (-4) = 40
300^0	10 x (-0.866) = -8.66	4 x (-0.866) = -3.46	(-8.66) X (-3.46) = 30

330^0 360^0	10 x (- 0.5) = -5 10 x 0 = 0	4 x (-0.5) = -2 4 x 0 = 0	(- 5) X (-2) = 10 0 X0 = 0

Berdasarkan tabel di atas maka kurva karakteristik arus,tegangan dan daya adalah sebagai berikut;



Gambar 1-6.1 Kurva karakteristik Daya

Contoh 1.12

Misalnya suatu tegangan bolak-balik memiliki harga maksimum 10 volt diterapkan pada resistor 2.5 ohm, maka arus bolak-balik yang mengalir dalam rangkaian Resistor akan sefasa dengan tegangan yang diterapkan padanya dan memiliki nilai maksimum 4 ampere. Harga setiap saat daya (P) ditabulasikan seperti dalam tabel di atas. Jika harga-harga daya ditabulasikan maka diperoleh gambar seperti di atas. Harga rata-rata daya untuk satu periode sama dengan setengah dari daya maksimum.

$$\text{Jadi daya rata-rata} = \frac{\text{Daya maksimum}}{2}$$

$$= \frac{Um \times Im}{2}$$

= 20 watt.

Tegangan efektif U = Um x 707

= 10 x 0.707

= 7.07 Volt

Arus efektif I = Im x 0.707

= 4 x 0.707

= 2.83 Ampere

Hasil kali U dan I = 7.07 x 2.83

= 20 watt

Daya maksimum Pm = Um x Im

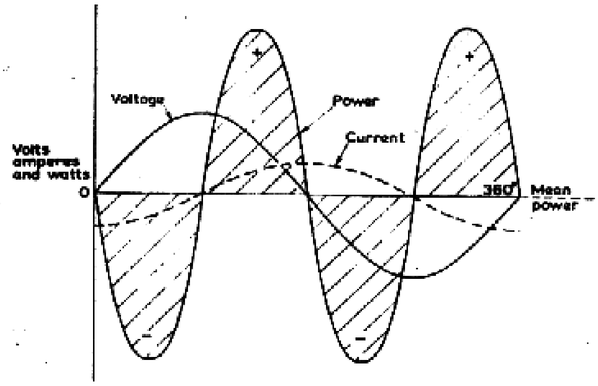
Daya efektif = (Pm/2)

$$= \frac{(Um \times Im)}{\sqrt{2}.\sqrt{2}}$$

= Um x 0.707 x Im x 0.707

6.3 Daya pada Rangkaian Induktif

Apabila suatu sumber arus bolak-balik dihubungkan pada suatu rangkaian induktif yang Resistansinya sangat kecil sehingga dapat di abaikan, maka arus listrik yang melewati rangkaian induktif dimaksud memiliki fasa tertinggal 90^0 dari fasa tegangan suplai.



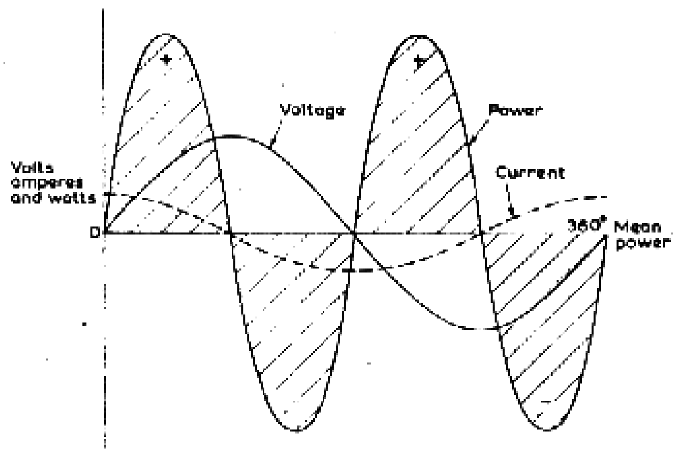
Gambar 1-6.2 Kurva daya pada rangkaian induktif

Terlihat dari gambar di atas bahwa kurva daya tidak hanya terletak di bagian atas garis nol seperti pada rangkaian resistif, karena beberapa saat tertentu dimana tegangan positif, ternyata arus negatif demikian pula pada saat dimana tegangan negatif ternyata arus positif. Dengan demikian perkalian tegangan dan arus sesaat pada waktu-waktu tertentu memungkinkan nilainya negatif sehingga kurvanya digambar pada bagian bawah garis nol.

Bagian positif kurva daya merepresentasikan daya listrik disuplai ke rangkaian, sedangkan bagian negatifnya menyatakan daya balik ke sumber suplai. Untuk mengilustrasikan hal tersebut, dapat dipelajari dari kenyataan bahwa apabila suatu sumber daya listrik dipakai untuk mengisi suatu *battery* maka sepanjang tegangan sumber masih lebih tinggi dari pada tegangan *battery*, arus listrik akan mengalir di dalam *battery* sehingga ada usaha untuk melakukan perubahan kimia di dalam *battery* dimaksud. Dalam kondisi ini daya yang positif akan mensuplai *battery*. Selanjutnya apabila pada suatu saat tegangan *battery* menjadi lebih besar dari tegangan suplai maka daya listrik akan dikirim kembali dari *battery* ke suplai. Pada saat inilah maka bagian daya yang negatif akan mensuplai *battery*. Perlu diingat bahwa pada rangkian induktif murni, tidak ada daya nyata (watt) jadi apabila pada rangkaian dimaksud dipasang wattmeter maka penunjukannya sama dengan nol.

6.4 Daya pada Rangkaian Kapasitif

Kurva daya untuk rangkaian kapasitif murni, dimana arus mendahului tegangan sekitar 90^0, ditunjukan dalam gambar sebagai berikut :

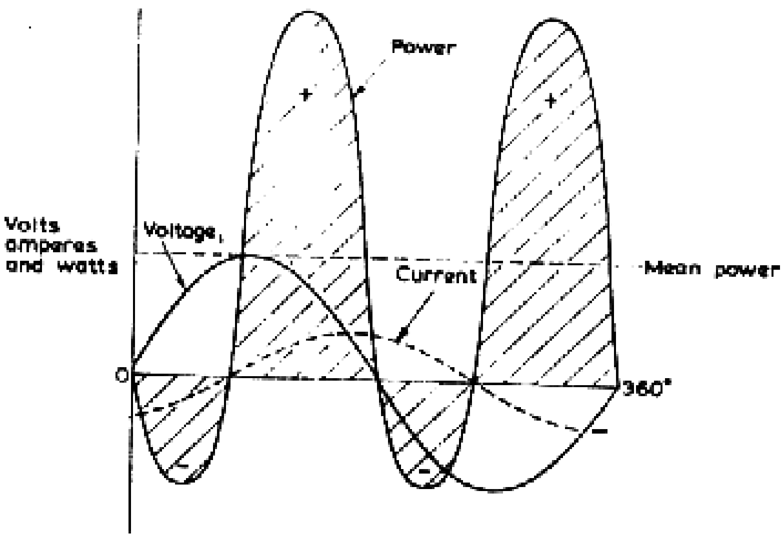


Gambar 1-6.3 Kurva daya pada rangkaian kapasitif

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kurva daya memiliki kedudukan simentris terhadap garis nol dimana bagian positif dan bagian negatif mempunyai besar yang sama sehinggga daya rata-rata untuk satu periodenya sama dengan nol.

6.5 Daya pada Rangkaian Reaktif

Apabila sebuah Resistor dihubung seri dengan sebuah induktor maka arus dalam rangkaian akan memiliki fasa tertinggal dari tegangan sebesar kurang dari 90^0, katakanlah. Kurva arus dan tegangan serta dayanya ditunjukan dalam gambar berikut ini:



Gambar 1-6.4 Kurva daya reaktif

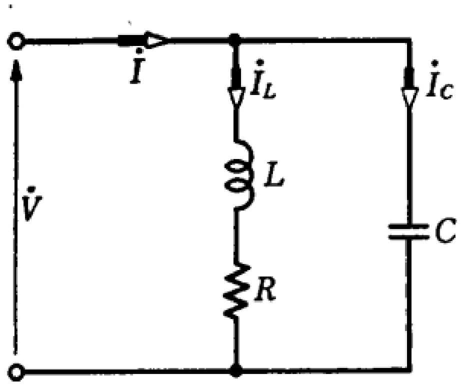
Terlihat bahwa kurva daya menempati porsi yang lebih besar pada bagian di atas garis nol dibandingkan dengan bagian dibawah garis nol.

Daya pada rangkaian reaktif tidak dapat ditentukan dengan mengalikan arus dan tegangan seperti pada Rangkaian dc. Hasil kali antara arus efektif dan tegangan efektif disebut voltampere (VA) atau kilovoltampere (KVA). Pada

rangkaian ac, daya watt hanya terdisipasi pada Resistansi R dan harga daya dimaksud dinyatakan dengan persamaan $P = I^2 R$ dimana I adalah harga efektif arus listrik.

7. Pentingnya Perbaikan Faktor Daya

Seperti diketahui bahwa dalam banyak hal perbaikan arus bolak-balik terdapat pergeseran fasa antara arus tegangan. Ada kalanya geseran fasa tersebut sama dengan nol, yaitu apabila beban yang digunakan adalah beban resistif misalnya : lampu pijar, setrika listrik dan sebagainya dalam kehidupan sehari-hari adalah jenis beban induktif seperti yang dijumpai pada transformator, motor-motor listrik, lampu TL dan sebagainya. Sehingga arus dan tegangan tidak akan se-fasa, seperti yang ditunjukan pada gambar 1-7.1. Akibatnya arus yang mengalir tidak seluruhnya menghasilkan energi. Seperti telah dibahas dalam topik sebelumnya bahwa arus yang akan menghasilkan energi hanyalah arus yang sefasa dengan tegangan.



Gambar 1-7.1

Dari gambar 1-7.1 dapat diketahui bahwa arus yang bersifat resistif yang akan menghasilkan energi adalah $VI \cos \varphi$. Dengan demikian dapat dipahami bahwa semakin besar sudut φ semakin kecil $\cos \varphi$ (faktor daya). Akibatnya $VI \cos \varphi$ akan semakin kecil bila dibandingkan dengan VI. Sehingga untuk mendapatkan suatu daya tertentu diperlukan arus yang lebih besar, yang berarti pula akan menyerap daya semu atau (VA) yang lebih besar. Hal ini jelas merupakan suatu kerugian.

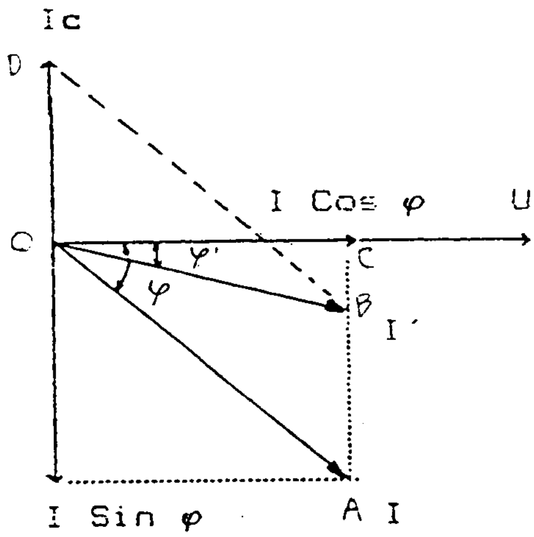
Karena semakin besar suatu beban menyerap VA akan semakin sedikit jumlah beban yang dapat dipasang. Oleh karena itu sedapat mungkin haruslah ada usaha untuk memperkecil sudut pergeseran fasa ini yang berarti memperbesar faktor daya.

7.1 Perhitungan Harga Kapasitor

Usaha yang dapat dilakukan untuk memperkecil geseran fasa antara arus dan tegangan (memperbesar faktor daya), adalah dengan menambah kapasitor secara paralel pada beban tersebut. Karena seperti kita ketahui bahwa arus yang mengalir pada kapasitas berlawanan dengan arus yang mengalir pada beban induktif. Sehingga dengan demikian arus reaktif akan menjadi lebih kecil dan bila dapat diharapkan menjadi nol. Gambar rangkaian dan vektor diagram dari usaha perbaikan faktor daya ini adalah seperti yang terlihat pada gambar Gambar 1-7.2.

Arus I dan sudut φ pada gambar 1-7.2 adalah kondisi sebelum dipasang kapasitas (C), sedangkan setelah dipasang kapasitor arus yang mengalir berubabh menjadi I" dan sudut geseran fasa berubah menjadi φ".

Ternyata arus I" lebih kecil dari I dan sudut φ" lebih kecil dari sudut φ. Berarti *Cosφ*" (faktor daya sesudah dipasang C) lebih besar cos φ (faktor daya sebelum dipasang C). Selanjutnya berapakah harga kapasitas C (μF) yang harus dipasang untuk memperkecil sudut pergeseran fasa dari φ menjadi φ".



Gambar 1-7.2.

A. Cara yang pertama dapat diselesaikan dengan menerapkan dalil-dalil *trigonometri* pada gambar 1-6.6 sebagai berikut :

OC = I Cos φ

OD = AB = IC

AB = AC – BC

Perhatikan Δ OCA

BC = OC tan φ"

Jadi I_c = AB – BC

= OC tan φ - OC tan φ"

= I Cos φ (tan φ - tan φ")

$$karena, X_C = \frac{V}{I_C} dan, C = \frac{Ic}{2\pi fV}$$

$$maka, C = \frac{I_C}{2\pi fV}$$

$$C = \frac{ICos\varphi(\tan\varphi - \tan\varphi')}{2\pi fV}$$

Dimana : C = Kapasitansi (Farad)

I = Arus yang mengalir sebelum dipasang kapasitor (A)

φ = Sudut pergeseran fasa sebelum dipasang kapasitor

φ"= Sudut pergeseran fasa yang diinginkan

V = Tegangan (V)

Selanjutnya bila diinginkan sudut geseran fasa sama dengan nol (faktor daya = 1), berarti I_c = *I Sin* φ (perhatikan gambar 8-2), jadi harga kapasitor yang harus dipasang adalah :

$$C = \frac{ISin\varphi}{2\pi fV}$$

B. Cara kedua dapat diselesikan dengan menerapkan teori daya   sebagai berikut :

Contoh 1.13

Diketahui :

Daya : 450 (VA)

Faktor daya 80 %

Frekuensi f =50 (Hz)

Tentukan nilai C supaya faktor daya menjadi 100 % ($Cos\varphi = 1$)

Penyelesaian :

Daya aktif kumparan L : $P_l = VI_lCos\varphi = 220 \times 0.8 \times I_l$

Daya reaktif kumparan L : $Q_l = VI_lSin\phi = 220 \times 0.6 \times I_l$

Daya aktif kapasitor C : $P_c = 0$

Daya reaktif kapasitor C : $Q_c = VI_cSin(-\pi/2) = -220 \times I_c$

Sehingga jumlah daya :

$$(P_l + P_c) + j\,(Q_l + Q_c)$$

$$\{(220 \times 0.8 \times I_l) + 0\} + j\,\{(220 \times 0.6 \times I_l) - 220 \times I_c\}$$

Supaya faktor daya 100% ($Cos\ \varphi = 1$) dari persamaan diatas maka bilangan imagener harus sama dengan nol, jadi :

$$220 \times 0.6 \times I_l - 220 \times I_c = 0$$

$$220(0{,}6I_l - I_l) = 0$$

Sehingga :

$$0{,}6I_l - I_c = 0$$

$$P = VI_l$$

Dimana : $450 = 220 \times I_l$

$$I_l = \frac{450}{220} = 2.045(A)$$
$$0.6 I_l = I_c$$
$$I_c = 0.6 \times 2.045 = 1.227(A)$$
$$I_c = \frac{V}{X_c} = \frac{220}{1.227}(A) \qquad X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$
$$X_c = \frac{V}{I_c} = \frac{220}{1.227} = \frac{1}{2\pi f C}$$
$$1.227 = 2\pi f C \times 220$$
$$C = \frac{1.227}{2\pi f\, 220} = \frac{1.227}{440 \times 3.14 \times 50} = 17.76 \times 10^{-6}(F)$$

jadi nilai kapasitor *C = 17.76 (μF)*

8. Faktor daya (Cos φ)

Perbandingan antara daya nyata (watt) terhadap perkalian arus dan tegangan (voltampere) disebut faktor daya (pf). Secara matematis faktor daya (pf) atau disebut Cos φ adalah sebagai berikut:

$$pf = \frac{P(watt)}{UI(voltampere}$$ atau

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI} = \frac{daya\ nyata}{daya\ semu}$$

Pada rangkaian induktif, arus tertinggal dari tegangan, oleh sebab itu rangkaian ini memiliki faktor daya tertingggal atau *lagging*. Sedangkan pada rangkaian kapasitif, arus mendahului tegangan, oleh sebab itu rangkaian ini memiliki faktor daya mendahului atau *leading*.

Dengan menerapkan dalil Phitagoras dan dalil-dalil Trigonometri hubungan antara Daya Semu (S), Daya Nyata(P), Daya Reaktif (Q) dapat dihitung sebagai berikut :

$$Daya\ Semu\ S = \sqrt{(daya\ nyata\ P)^2 + (daya\ reaktif\ Q)^2}$$

$$UI = \sqrt{(UI\ Cos\ \varphi)^2 + (UI\ Sin\ \varphi)^2}$$

Selain daya semu terhadap pula daya nyata :

$$P = UI\ Cos\ \varphi\ \text{(W)}$$

Persamaan ini pada umumnya disebut daya listrik, jika kita uraikan menjadi :

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI} = \frac{daya\ nyata}{daya\ semu}$$

Dari sini selain daya semu *UI* (VA) yang diserap oleh beban pada kenyataan terdapat juga faktor, faktor ini disebut Faktor Daya (*Power Factor*).

Contoh 1.14

Sebuah wattmeter dan amperemeter dihubungkan pada suatu rangkaian kapasitif. Wattmeter membaca 900 watt, voltmeter 250 volt dan amperemeter 4 A. Berapa faktor daya rangkaian kapasitif dimaksud?

Jawab :

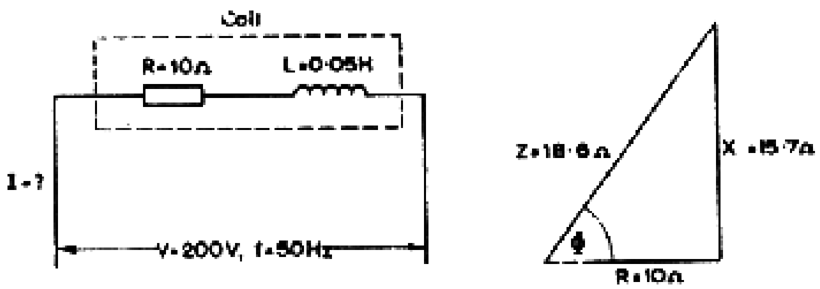
Cos φ = (P/UI)

= (900/250 x 4)

= 0.9 leading.

Contoh 1.15

Sebuah *coil* memiliki Resistansi 10 ohm dan induktansi 0.05 H disuplai dengan tegangan 200 volt 50Hz.Hitunglah arus listrik dari suplai, faktor daya dan *rating* daya pada *coil*.



(a) *Circuit diagram* (b) *Impedance triangle*

X_L = $2\pi fL$

= 2 x 3.14 x 50 x 0.05

= 15,7 ohm

Z = $\sqrt{R^2 + XL^2}$

= $\sqrt{(10)^2 + (15.7)^2}$

= 18.6 ohm

I = (U/Z)

= (200/18.6)

= 10.75 A

Cos θ = (R/Z)

= (10/18.6)

= 0.538 *langging*.

P = UI Cos θ

= 200 x 10.75 x 538

= 1155 Watt

Pengecekan :

P = I^2R

= 10.75

= 11.55 Watt

Contoh 1.16

Hitunglah arus yang ditarik oleh sebuah motor listrik suatu fasa 230 volt jika motor tersebut memiliki daya *output* 3730 watt, efisiensi 78%, dan faktor daya 0.8.

Jawab :

$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$

Input $= \frac{\text{Output}}{\eta}$

$= \frac{3730 \times 100}{78}$

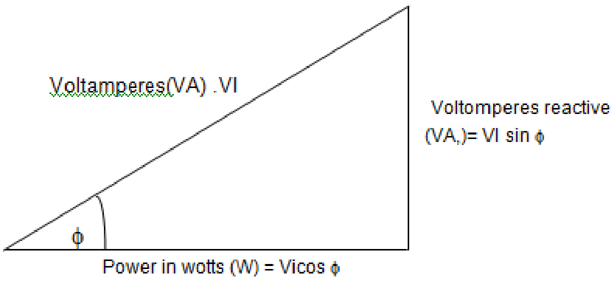
$= \text{UI Cos } \theta$

$I = \frac{P}{\text{U Cos } \theta}$

$= \frac{3730 \times 100}{78 \times 230 \times 0.8}$

$= 26$ A

Hubungan vektoris antara daya nyata (watt) dan daya voltampere diperlihatkan dalam segitiga daya seperti gambar berikut ini:



Gambar 1-8.1 Segitiga daya

Segitiga daya dalam gambar di atas diperoleh dari segitiga impedansi yaitu dengan mengalikan masing-masing sisinya dengan arus kuadrat.

Proyeksi horizontal dari daya voltampere (VA) adalah daya nyata (watt), sedangkan proyeksi vertikalnya adalah daya voltampere reaktif (VAR)

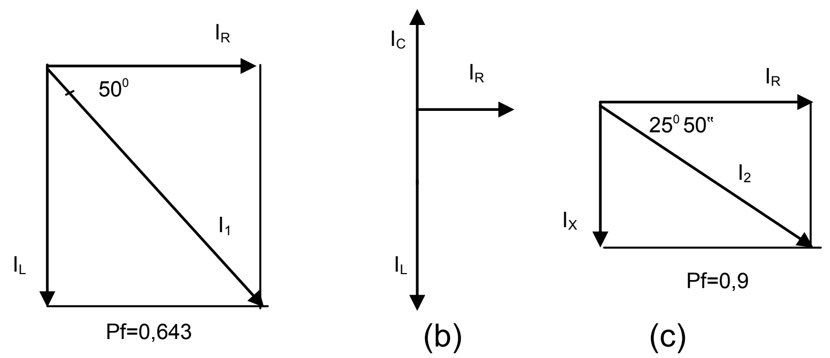
Peralatan-peralatan suplai listrik seperti alternator dan transformator, *rating* dayanya tidak dinyatakan dalam satuan kilowatt karena beban-beban yang dilayaninya memiliki faktor daya bermacam-macam.

Sebagai contoh jika alternator memiliki kemampuan arus listrik sebesar 2000 A pada tegangan 400 volt, ini berarti bahwa *rating* daya alternator adalah 400 x 2000 VA atau 800 KVA. Beda fasa antara arus dan tegangan tergantung pada beban yang dilayani alternator, jadi bukan tergantung pada alternator.Apabila faktor daya beban adalah satu (1) maka *rating* alternator sebesar 800 KVA dapat

dioptimalkan untuk melayani beban sebesar 800 KW. Tetapi apabila faktor daya beban adalah 0.5 maka *rating* alternator sebesar 800 KVA di atas hanya dapat melayani beban sebesar 400 KW saja.

Konduktor dan transformator yang menghubungkan alternator dan beban harus mampu mengalirkan arus listrik sebesar 2000 ampere tanpa menyebabkan adanya kenaikan panas yang berlebihan. Jadi dalam hal ini konduktor dan transformator dapat mentransmisikan daya sebesar 800 KW dengan arus 2000 ampere jika faktor daya beban adalah satu(1). Tetapi sebaliknya hanya dapat mentransmisikan 400 KW dengan arus 2000 ampere jika faktor daya beban adalah 0.5.

Beban-beban di industri umumnya bersifat induktif. Beban-beban tersebut misalnya motor listrik yang dipergunakan sebagai penggerak mesin industri, Lampu-lampu tabung sebagai sumber penerangan, mesin-mesin las dan lain sebagainya. Umumnya beban-beban industri ini memiliki faktor daya Relatif rendah. Untuk itu perlu diperbaiki dengan memasang kapasitor pararel yang memiliki nilai kapasitansi yang cocok. Secara logika, perbaikan faktor daya ditunjukkan dalam bentuk diagram vektor sebagai berikut :



(a)Sebelum perbaikan *factor* daya (b) Setelah dipasang kapasitor
(c) *Resultant current*

Gambar 1-8.2 Gambar Faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor

Terlihat dari diagram vektor bahwa arus yang ditarik rangkaian total menjadi lebih kecil setelah faktor daya rangkaian diperbaiki. Dengan demikian maka daya yang dipasangkan PLN atau *Rating* daya mesin pembangkit listrik dapat dimanfaatkan secara optimal.

Contoh 1.17 :

Sebuah pabrik memiliki baban-beban sebagai berikut :

- Lampu-lampu pijar 10 KW
- Pemanas 30 KW
- Motor-motor listrik 40 KVA pada faktor daya 0.8 *lagging*.
    a) Hitung daya nyata dalam satuan KW
    b) Hitung total KVAR
    c) Hitung total KVA
    d) Hitung faktor daya instalasi

Jawab :

a). Daya nyata motor = 40 x 0.8

= 32 KW

Total daya nyata = 10 + 30 + 32

= 72 KW

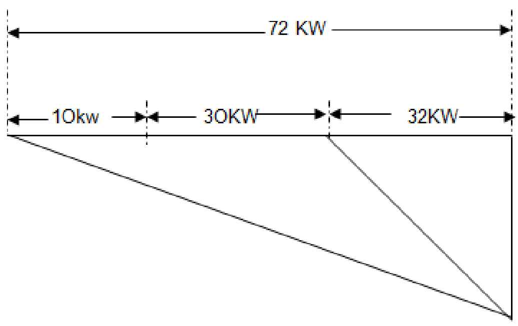
b) KVAR motor = 40 Sin φ (dimana Cos φ = 0.8)

= 40 Sin 36052"

= 40 x 0.6

= 24 KVAR

c) Total KVA dapat dihitung dengan melihat diagram vektor seperti gambar berikut ini:



d) Cos φ $= \frac{\text{Total KW}}{\text{Total KVA}}$

= (72/75.9)

= 0.95 *lagging*.

Contoh 1.18

Sebuah mesin las menarik arus 30 A dari sumber tegangan 400 volt pada faktor daya 0.5 *lagging*. Hitunglah :

a) KVA mesin
b) Daya nyata dalam KW
c) KVAR mesin
d) *Rating* KVAR kapasitor untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0.9 *lagging*
e) Arus yang ditarik rangkaian mesin setelah perbaikan faktor daya.

Jawab :

a) KVA $= \frac{400 \times 30}{1000}$

= 12 KVA

b) Daya nyata = KVA x Cos φ

= 12 x 0.5

= 6 KW

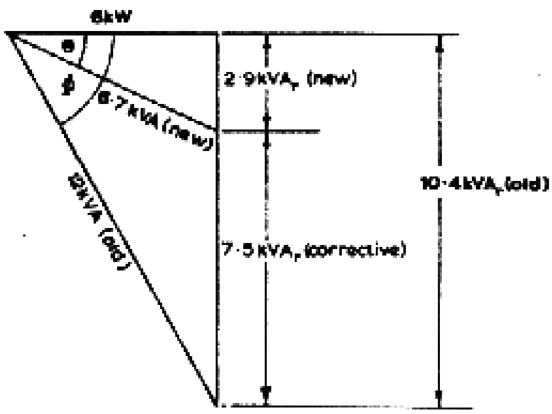
c) KVAR = KVA Sin φ

= 12 Sin 600

= 12 x 0.866

= 10.4 KVAR

d) Perhatikan gambar vektor berikut ini :



Jika faktor daya adalah 0.9 *lagging* maka;

Cos φ = 0.9

KVAR yang baru = KW x tg φ

= 6 x tg 25051

= 6 x 0.4845

= 2.9 KVAR

KVAR kapasitor diperoleh dengan mengurangkan KVAR awal (faktor daya lama) dengan KVAR baru (faktor daya baru)

Jadil KVAR kapasitor = 10.4 – 2.9

= 7.5 KVAR

e) KVA baru = $O(KW)^2 + (KVAR\ baru)^2$

= $O(6)^2 + (2.9)^2$

= 6.7 KVA

Arus setelah perbaikan faktor daya (1) dapat dihitung sebagai berikut :

$$I\ baru = \frac{VA\ baru}{U}$$

$$= \frac{6.7 \times 1000}{400}$$

= 16.7 A

Tugas 1.2 Perbaikan faktor daya

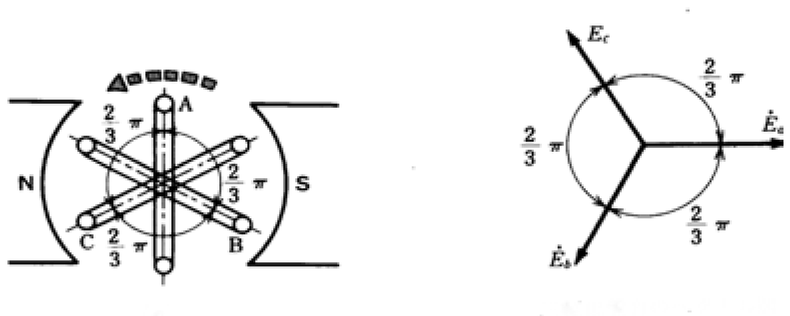
Coba kalian diskusikan mengapa harus dilakukan perbaikan faktor daya (Cos φ) pada peralatan beban induktif seperti yang dijumpai pada transformator, motor-motor listrik, dan lampu TL? Jika tidak dilakukan perbaikan faktor daya (Cos φ) ,maka kerugian apa yang akan terjadi?.Kemukakan berdasarkan analisa dan fakta kemudian kalian buat kesimpulannya!.

9. Pembangkitan Tegangan Tiga Fasa

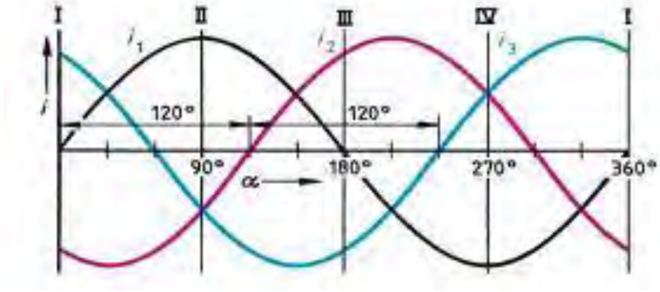
Jenis arus dan tegangan yang dibahas sebelumnya adalah arus dan tegangan satu fasa atau sistem satu fasa, karena hanya terdiri dari gelombang tunggal. Generator satu fasa hanya mempunyai satu kumparan jangkar, tetapi dapat juga dirancang kumparan jangkar tersebut lebih dari satu kumparan jangkar yang ditempatkan satu sama lain dengan sudut yang sama, besarnya sudut ditentukan oleh jumlah nfasa atau jumlah kumparan.

Gambar 1-9.1 menunjukkan sebuah alternator tiga fasa yang mempunyai dua buah kutub dengan sistem jangkar berputar (generator berkutub luar), alternator ini mempunyai tiga kumparan A, B dan C yang ditempatkan satu sama lain dengan jarak 120^0 listrik (2/3 π rad).

Bila mana arah perputaran rotor (jangkar) seperti yang ditunjukan anak panah (perhatikan gambar 1-9.1a), maka tegangan yang terkait pada masing-masing kumparan adalah dalam urutan A, B dan C.



Gambar 1-9.1



Gambar 1-9.2.

Karena masing-masing kumparan tersebut ditempatkan satu sama lain dengan jarak 120^0 (2/3 π rad), maka tegangan yang terbangkit pada kumparan B akan mencapai harga maksimum 120^0 setelah harga maksimum pada kumparan A dan tegangan yang terbangkit pada kumparan C akan mencapai harga maksimum 120^0 (2/3 π rad) setelah harga maksimum pada kumparan B atau 240^0 (2/3 π rad) setelah harga maksimum pada kumparan A.

Dengan demikian tegangan yang terbangkit pada ketiga kumparan, satu sama lain akan mempunyai geseran fasa sebesar 120^0 listrik (π/3 rad). Adapun bentuk gelombangnya adalah seperti yang ditunjukan pada gambar 1-9.1b. Masing-masing gelombang tegangan berbentuk sinusioda dan mempunyai harga maksimum (*Em*) yang sama.

Secara metematis persamaan masing-masing gelombang tegangan pada gambar 1-9.1b diatas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$ea = \sqrt{2}\, E\, Sin\, w.t$$
$$eb = \sqrt{2}\, E\, Sin\left(w.t - 2/3\pi\right)$$
$$ec = \sqrt{2}\, E\, Sin\left(w.t - 4/3\pi\right)$$

Selanjutnya grafik sinusioda (vektor sesaat) seperti gambar 1-9.1b diatas dapat pula dilukiskan dalam bentuk vektor diagram seperti yang ditunjukan pada gambar 1-9.2.

Dengan demikian dapat dipahami bahwa jumlah tegangan dari ketiga fasa adalah sama dengan nol. Perhatikan gambar 1-9.1, masing-masing tegangan berbeda

masing-masing 2/3π (rad). Dari gambar 1-9.1 dapat dimengerti tegangan yang dibangkitkan pada saat waktu t_1, t_2, t_3, …..dan seterusnya bila di jumlahkan maka :

$$ea + eb + ec = 0$$

atau, dari gambar 6-1c dapat dimengerti juga, penjumlahan vektornya menjadi :

$$Ea + Eb + Ec = 0$$

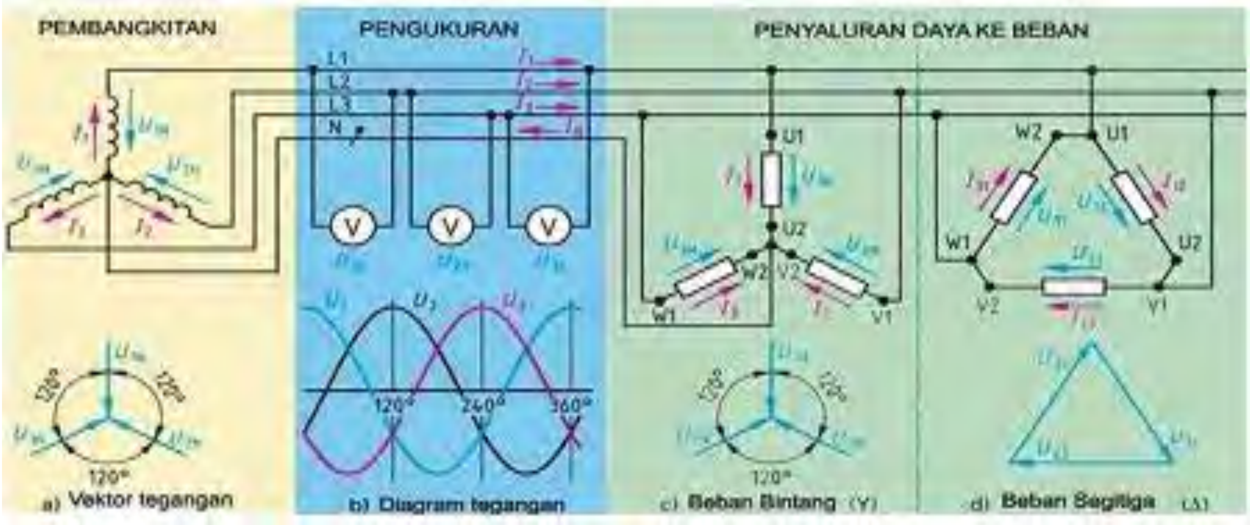
Dalam bentuk phasornya dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$Ea = E \angle 0$$
$$Eb = E \angle - 2/3\ \pi$$
$$Ec = E \angle - 4/3\ \pi$$

9.1 Tegangan dan Arus Rangkaian Tiga Fasa

Gambar 1-9.1 adalah *Alternator* (*Generator*) tiga fasa dimana masing-masing kumparannya a, b, c dihubungkan berbentuk huruf Y, hubungan seperti ini disebut hubungan Y (*Y-Connection*) atau hubungan bintang (*Star Connection*).

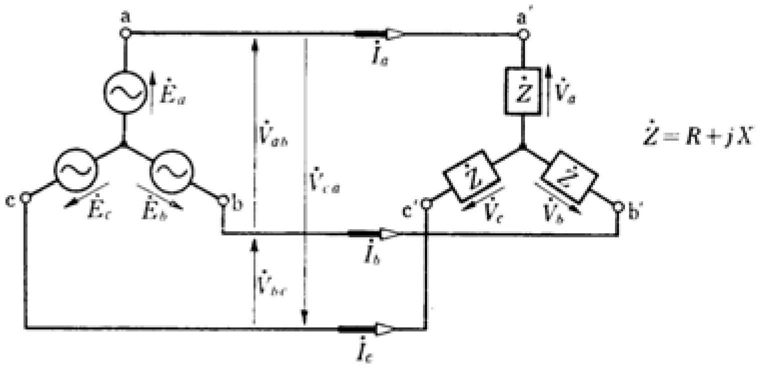
Demikian juga, seperti yang ditunjukan pada gambar 1-9.3 dihubungkan berbentuk Δ, hubungan seperti ini disebut hubungan segitiga (*Delta Connection*) dan berbentuk Y, hubungan seperti ini disebut hubungan bintang (*Star Connection*)



Gambar 1-9.3. Hubungan bintang dan segitiga.

Tegangan arus antara sumber tegangan dan beban disebut tegangan fasa (*phase voltage*) dan arus fasa (*phase current*), sedangkan tegangan dihubungkan ke beban melalui penghantar antara fasa dengan fasa disebut tegangan jala-jala (*line voltage*).

9.2 Tegangan dan Arus Rangkaian Tiga Fasa Hubungan Bintang



Gambar 1-9.4 Hubungan bintang.

Gambar 1-9.4 adalah rangkaian tiga fasa yang terdiri dari sumber tegangan dan beban yang dihubungkan bintang. Bagaimanakah hubungan arus dan tegangan pada rangkaian tersebut.

Dari gambar 1-9.4 dapat dimengerti bahwa hubungan tegangan fasa dan tegangan jala-jala adalah sebagai berikut :

$$V_{ab} = E_a - E_b$$
$$V_{bc} = E_b - E_c$$
$$V_{ca} = E_c - E_a$$

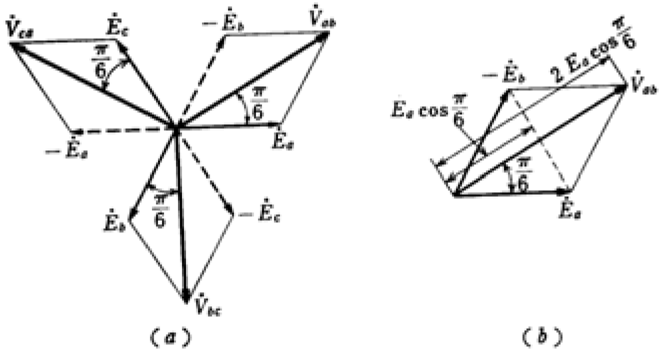
E_a sebagai dasar, hubungannya bila dilukiskan secara vector diagram menjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.9-4. Demikian juga, besarnya tegangan jala-jala V_{ab} (V) dari gambar 1.9-4 dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$V_{ab} = 2\ E_a \ Cos\ \pi/6 = \sqrt{3}\ E_a$$

Sehingga tegangan jala-jala V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} (V) pada rangkaian tiga fasa hubungan bintang mendahului tegangan fasa E_a, E_b, E_c (V) sejauh $\pi/6$ (rad), besarnya $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.9-5, tegangan beban setiap fasa V_a, V_b, V_c (V) sama dengan tegangan sumber setiap fasa menjadi :

$$V_a = E_a,\ V_b = E_b,\ V_c = E_c$$



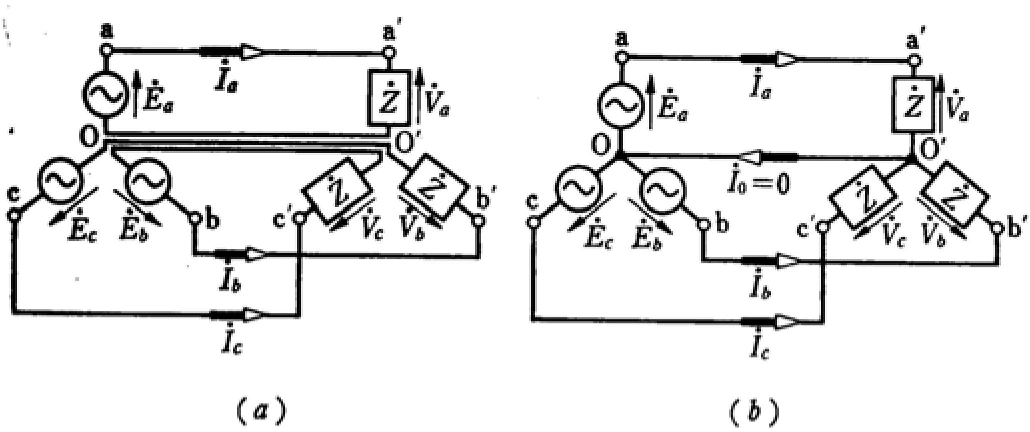
Gambar 1-9.5.

Dengan demikian, bila beban impedansi $Z = R + jx$ (Ω), maka arus yang mengalir pada masing-masing beban sama dengan arus jala-jala I_a, I_b, I_c menjadi :

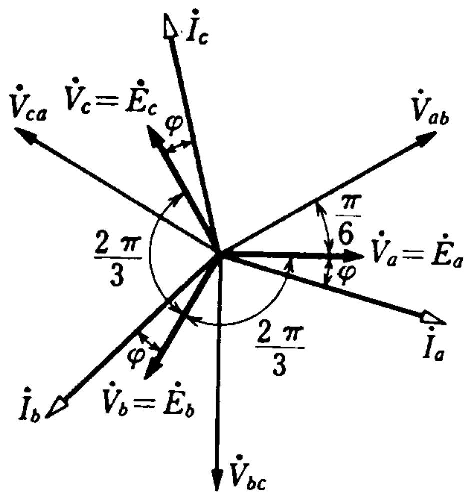
$$I_a = V_a/Z,\ I_b = V_b/Z,\ I_c = V_c/Z$$

Perbedaan fasa antara tegangan fasa dan arus fasa menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1} X/R$$



Gambar 1-9.6.



Gambar 1-9.7.

Hubungannya bila dilukiskan dalam vektor diagram menjadi seperti yang ditunjukan pada gambar 1-9.5.

Selanjutnya bagaimanakah arus I_o (A) yang mengalir pada penghantar antara titik 0-0^1. Dari gambar 1-9.6b:

$$I_0 = I_a + I_b + I_c$$

akan tetapi, dari gambar 1-9.6 dapat dimengerti bahwa :

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

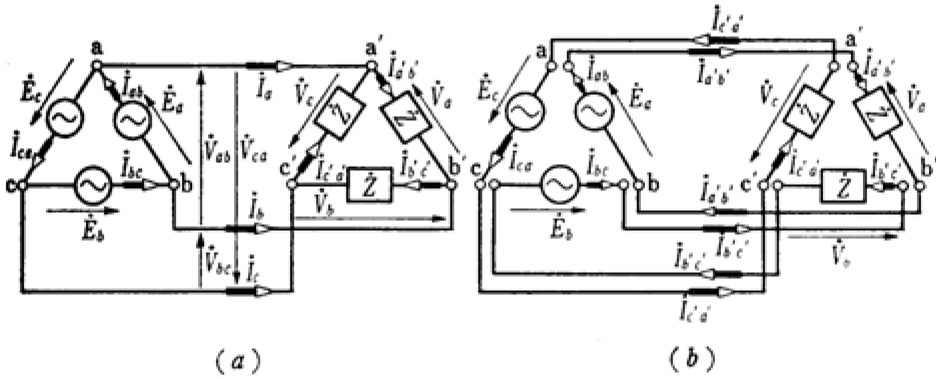
Jadi, seperti yang ditunjukkan gambar 1-9.5b karena pada penghantar 0-0'' tidak ada arus yang mengalir maka hubungan arus dan tegangan seperti yang diperhatikan pada gambar 1.-9.3 tidak ada perubahan. Sehingga hubungan antara tegangan sumber E_p (V), tegangan fasa pada beban V_p (V), tegangan jala-jala V_ι (V), arus fasa I_p (A), arus jala-jala I_ι (A) dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$E_p = V_p$$

$$V_\iota = \sqrt{3}\, E_p = \sqrt{3}\, V_p$$

$$I_\iota = I_p = V_p/Z$$

1.3 Tegangan dan Arus Rangkaian Tiga Fasa hubungan Segitiga



Gambar 1-9.8. Hubungan segitiga.

Gambar 1-9.8 adalah rangkaian tiga fasa yang terdiri dari sumber tegangan dan beban yang dihubungkan segitiga. Bagaimanakah hubungan arus dan tegangan pada rangkaian tersebut. Supaya dapat dimengerti dengan mudah, rangkaian gambar 1.9-8a, masing-masing fasa dipisahkan menjadi 3 group seperti yang ditunjukan pada gambar 1.9-8b. Sehingga sumber tegangan dan beban masing-masing dihubungkan oleh 2 kawat penghantar.

Dari gambar diatas dapat dimengerti bahwa karena tegangan fasa sama dengan tegangan jala-jala, sehingga hubungannya dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$E_a = V_{ab} = V_a$$
$$E_b = V_{bc} = V_b$$
$$E_c = V_{ca} = V_c$$

Karena tegangan sumber pada rangkaian segitiga menjadi :

$$E_a + E_b + E_c = 0$$

Pada saat tanpa beban di dalam rangkaian segitiga, tidak ada arus yang mengalir. Tegangan jala-jala V_{ab} (V) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V_{ab} = E_a = -E_b - E_c$$
$$= V_a = -V_b - V_c$$

seperti yang ditunjukkan pada gambar 1-9.8b, bila beban impendasi :

$Z = R + jX$ (Ω), arus masing-masing fasa $I_{a'b'}$, $I_{b'c'}$, $I_{c'a'}$ (A) menjadi :

$$I_{a'b'} = \frac{Va}{Z} = \frac{Va}{R + jX}\left(Perbedaan\ phasa\ dengan\ V_a\ adalah\ \varphi = \tan^{-1} X / R\right)$$
$$I_{b'c'} = \frac{Vb}{Z} = \frac{Va}{R + jX}\left(Perbedaan\ phasa\ dengan\ V_b\ adalah\ \varphi\right)$$
$$I_{c'a'} = \frac{Vc}{Z} = \frac{Vc}{R + jX}\left(Perbedaan\ phasa\ dengan\ V_c\ adalah\ \varphi\right)$$

Demikian juga, arus I_a, I_b, I_c (A) dari gambar 6-8 dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_a = I_{a'b'} - I_{c'a'}$$
$$I_b = I_{b'c'} - I_{a'b'}$$
$$I_c = I_{c'a'} - I_{b'c'}$$

Dari gambar 1-9.8 dapat dimengerti, karena arus pada gambar tegangan dan arus pada beban sama, maka :

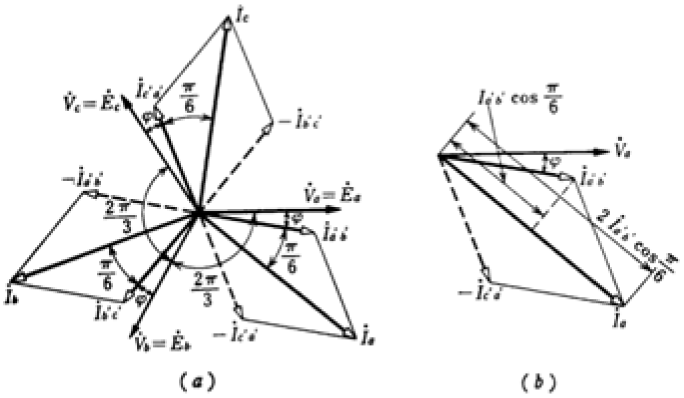
$$I_{a'b'} = I_{ab},\quad I_{b'c'} = I_{bc},\quad I_{c'a'} = I_{ca}$$

Hubungan arus dan tegangannya, sebagai dasar $V_a = E_a$ dapat dilukiskan secara vektor diagram, seperti yang ditunjukan pada gambar 1-9.9.

Besarnya arus jala-jala I_a, dari gambar 1-9.9b dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_a = 2I_{A'B'} Cos\frac{\pi}{6} = \sqrt{3} I_{A'B'}$$

Jadi, arus jala-jala I_a, I_b, I_c pada hubungan segitiga tertinggal terhadap arus fasa $I_{a'b'}$ (I_{ab}), $I_{b'c'}$ (I_{bc}), $I_{c'a'}$ (I_{ca}) sejauh $\pi/6$ (rad), besarnya $\sqrt{3}$ kali arus fasa.

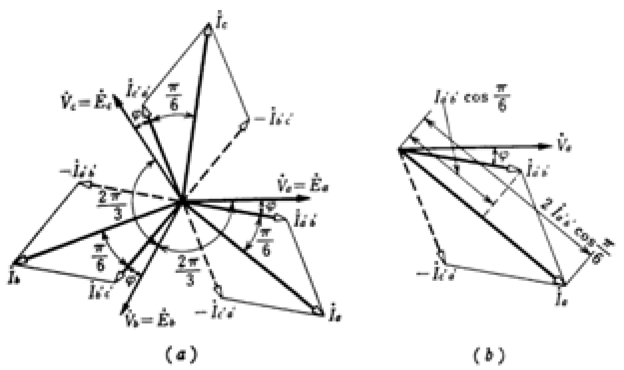


Gambar 1-9.9.

Sehingga dari gambar 1-9.9a rangkaian tiga fasa seimbang hubungan segitiga, tegangan jala-jala V_l(V), tegangan fasa V_p(V), arus fasa I_p(A), arus jala-jala I_l(A) pada rangkaian tiga fasa seimbang hubungan segitiga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$V_l = V_p$

$I_l = \sqrt{3}\, I_p,\ I_p = I_l/\sqrt{3}$



Gambar 1-9.10.

Besarnya arus jala-jala I_a, dari gambar 1-9.10 dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_a = 2I_{A'B'} Cos\frac{\pi}{6} = \sqrt{3} I_{A'B'}$$

Jadi, arus jala-jala I_a, I_b, I_c pada hubungan segitiga tertinggal terhadap arus fasa $I_{a'b'}$ (I_{ab}), $I_{b'c'}$ (I_{bc}), $I_{c'a'}$ (I_{ca}) sejauh π/6 (rad), besarnya √3 kali arus fasa.

Sehingga dari gambar 1-9.10 rangkaian tiga fasa seimbang hubungan segitiga, tegangan jala-jala V_l(V), tegangan fasa V_p(V), arus fasa I_p(A), arus jala-jala I_l(A) pada rangkaian tiga fasa seimbang hubungan segitiga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$V_l = V_p$$

$$I_l = \sqrt{3}\, I_p,\; I_p = I_l/\sqrt{3}$$

Contoh 1.20:

Pada gambar 1-9.8a diketahui, tegangan jala-jala $V_l = 200$ (V). Impendasi $Z = 4+j3$ (Ω). Tentukan arus jala-jala I_l(A). Tentukan juga I_a, I_b, I_c.

$$Z = \sqrt{4^2 + 3^2} = 3(\Omega)$$

Tegangan fasa =

$$V_p = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{200}{\sqrt{3}} = \frac{200\sqrt{3}}{3}(V)$$

Arus jala-jala :

$$I_l = \frac{V_p}{Z} = \frac{200}{5\sqrt{3}} = \frac{40}{\sqrt{3}} = \frac{40\sqrt{3}}{3}(A)$$

Tegangan fasa V_a terhadap tegangan jala-jala V_{ab} tertinggal π/6 (rad) = 30^0, I_a terhadap V_a tertinggal :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{X}{R} = \tan^{-1}\frac{3}{4} = 36.8^0$$

$$I_a = \frac{40\sqrt{3}}{3}\neg\left(-30^0 - 36.8^0\right) = \frac{40}{\sqrt{3}} = \frac{40\sqrt{3}}{3}\neg -66.8^0$$

I_b terhadap I_a tertinggal 2/3π (120^0), I_c tertinggal 4/3π (240^0) maka : φ = tan^{-1} X/R = tan^{-1} ¾ = 36.8^0

$$Ia = \frac{403}{3}\angle\left(-30^0 - 36.8^0\right) = \frac{403}{3}\angle -66.8^0$$

$$= \frac{403}{3}\left\{Cos\left(-66.8^0\right) + jSin\left(-66.8^0\right) = 9.10 - j21.2\right\}(A)$$

I_b terhadap I_a tertinggal 2/3π (-120^0), I_c terhadap I_a tertinggal 4/3π (-240^0) maka :

$$Ib = \frac{403}{3}\angle\left(-30^0 - 36.8^0\right) = \frac{403}{3}\angle -186.8^0$$

$$Ib = \frac{403}{3}\left\{Cos\left(-186.8^0\right) + jSin\left(-186^0.8^0\right) = -22.9 + j2.73\right\}$$

$$Ic = \frac{403}{3}\angle\left(-30^0 - 36.6^0 - 240^0\right) = \frac{403}{3}\angle -306.8^0$$

$$Ic = \frac{403}{3}\left\{Cos\left(-306.8^0\right) + jSin\left(-306.8^0\right) = 13.8 + j18.5\right\}(A)$$

Tegangan fasa V_a terhadap tegangan jala-jala V_{ab} tertinggal π/6 (rad) = 30^0, I_a terhadap V_a tertinggal :

φ = tan^{-1} X/R = tan^{-1} ¾ = 36.8^0

$$Ia = \frac{403}{3}\angle\left(-30^0 - 36.8^0\right) = \frac{403}{3}\angle -66.8^0$$

$$= \frac{403}{3}\left\{Cos\left(-66.8^0\right) + jSin\left(-66.8^0\right) = 9.10 - j21.2\right\}(A)$$

B. Rangkuman

- Arus bolak-balik (AC/*alternating current*) adalah arus listrik dimana besar dan arahnya arus berubah-ubah setiap saat. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoida
- Fasor adalah sebuah vektor yang yang berotasi dalam arah yang berlawanan dengan arah perputaran jarum jam dengan laju sudut ω konstan yang sama dengan frekuensi sudut dari gerak sinusoidal.
- Usaha yang dapat dilakukan untuk memperkecil geseran fasa antara arus dan tegangan (memperbesar faktor daya), adalah dengan menambah kapasitor secara paralel pada beban.

C. Tugas Mandiri

1. Sebuah *coil* memiliki resistansi 2 ohm dan induktansi 0,02 henry. Hitunglah impedansi *coil* tersebut pada frekuensi jala-jala 50 Hz.

2. Sebuah *coil* akan mengalirkan arus listrik sebesar 20 A bila disambungkan pada sumber dc 100 volt, tetapi *coil* tersebut akan mengalirkan arus 12,5 A bila dihubungkan pada sumber ac 60 Hz 100 volt. Hitunglah :
   a. Resistansi *coil*
   b. Impedansi *coil*
   c. Reaktansi *coil*
   d. Induktansi *coil*

3. Sebuah *coil* memiliki induktansi 0,15 henry dan resistansi 10 ohm disambung seri dengan kapasitor 60 mikro fahrad dan disuplai pada sumber tegangan ac 50 Hz, 230 volt.
   Hitunglah :
   a. Impedansi rangkaian
   b. Arus yang mengalir dari suplai
   c. Beda fasa antara arus dan tegangan dalam rangkaian

4. Sebuah rangkaian seri terdiri dari resistor 4 ohm dan induktor 0,5 henry disambung paralel dengan variabel kapasitor dan diberi tegangan ac 50 Hz 100 volt. Hitung tegangan pada induktor dan resistor.

5. Resistor 25 ohm, induktor 0,0398 henry, kapasitor 318 mikro fahrad, ketiga-tiganya dihubung secara paralel pada sumber tegangan ac 50 Hz 100 volt. Hitunglah :
   a. Arus pada masing-masing komponen resistor, induktor dan kapasitor
   b. Arus total yang mengalir dari sumber suplai
   c. Geseran fasa antara arus total dan tegangan suplai

6. Hitunglah daya nyata, daya semu dan faktor daya dari rangkaian yang terdiri dari resistor 30 ohm seri dengan reaktansi induktif 40 ohm. Jika rangkaian ini disuplai tegangan ac 250 volt.

7. Sebuah motor satu fasa menggerakkan generator ac untuk mensuplai beban 15 A pada tegangan 100 volt. Efisiensi generator adalah 80% dan efisiensi motor adalah 85%. Jika motor memiliki faktor daya 0,65 dan disuplai tegangan 230 volt, hitunglah arus yang mengalir dari suplai

8. Sebuah alternator dibebani penuh, jika alternator ini dipakai mensuplai beban 300 KW pada faktor daya 0,6 *lagging*. Hitunglah KVAR yang dperlukan untuk menaikkan fator daya menjadi satu. Selanjutnya berapa banyak Kw tambahan yang dapat disuplai alternator setelah faktor daya dinaikkan.

9. Hitunglah daya total pda tiga Resistor 40 ohm yang disuplai dengan tegangan tiga fasa 400 volt apabila Resistor-resistor tersebut :
   a) Resistor dihubung delta
   b) Resistor dihubung bintang

10. Tiga buah kumparan (*coil*) masing-masing memiliki resistor 20 ohm dan reaktansi induktif 15 ohm disambung bintang dan disuplai dengan tegangan tiga fasa 400 volt. Hitunglah;
    a. Arus-arus kawat
    b. Faktor daya fotal
    c. Daya watt total

11. Sebuah motor induksi tiga fasa 400 volt menarik arus kawat 10A pada faktor daya 0,8. Apabila efisiensi motor tersebut 85%, berapakah daya *output* motor tersebut.

12. Sebuah sistim suplai tiga fasa empat kawat melayani beban tenaga pada tegangan 400 volt dan beban penerangan pada tegangan 230 volt. Jika

beban penerangan pada setiap fasanya menarik arus listrik masing-masing 70A, 84A dan 33A.Beban tenaga (motor) menarik arus listrik sebesar 200A pada fakor daya 0,2, Hitunglah :

a). arus-arus kawat

b). total daya yang diserap beban penerangan

c). total daya yang diserap beban tenaga (motor)

D.Tugas Praktek

1. JUDUL : Mengukur dan Menganalisa Arus da Tegangan AC

2. TUJUAN : - Menganalisa arus, tegangan dan frekuensi pada rangkaian AC

3. PERALATAN DAN BAHAN :

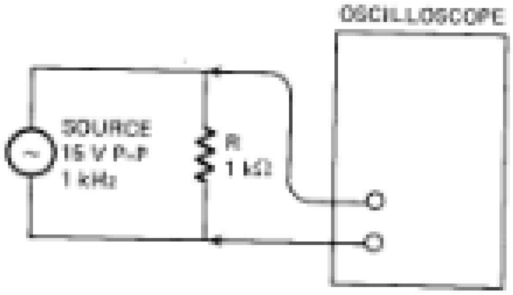
- 1 buah Sumber tegangan AC
- 1 Buah Pembangkit sinyal Generator
- 1 buah Resistor 1 kΩ
- 1 buah Resistor 2,2 kΩ
- 1 buah Osiloskop
- 1 buah AC Voltmeter
- 1 buah AC millimeter,0-10mA

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osiloskop, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osiloskop!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan rangkaian seperti gambar di bawah ini, atur sumber frekuensi pada 1 KHz, gunakan osiloskop, atur tegangan pada 15 Volt p-p.



2. Hitung tegangan efektif dan arus pada rangkaian tersebut.
3. Gunakan voltmeter, ukur dan catat, tegangan efektif dan arusnya. Kemudian kalian bandingkan hasil perhitungan pada langkah 2 dengan pengukuran pada langkah 3!.
4. Gantilah tahanan 1 KΩ dengan 2,2 KΩ, atur sumber frekuensi pada 1 KHz, gunakan osiloskop, atur tegangan pada 15 Volt p-p.
5. Hitung tegangan efektif dan arus pada rangkaian tersebut.
6. Gunakan voltmeter , ukur dan catat, tegangan efektif dan arusnya. Kemudian kalian bandingkan hasil perhitungan pada langkah 5 dengan pengukuran pada langkah 6!.
7. Atur pada generator frekuensi sampai 5 KHz, gunakan osiloskop,cocokkan data yang sudah dihitung dengan pengukuran yang telah dilakukan.

6. Kesimpulan

1. JUDUL : Mengukur dan Menganalisa Resistansi (R) pada rangkaian AC

2. TUJUAN : Menganalisa arus, tegangan dan frekuensi pada rangkaian AC

3. PERALATAN DAN BAHAN :

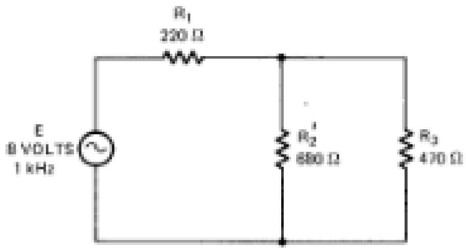
- 1 buah Sumber tegangan AC
- 1 Buah Pembangkit sinyal Generator
- 1 buah Resistor 220 Ω
- 1 buah Resistor 470 Ω
- 1 buah Resistor 680 Ω
- 1 buah Osiloskop
- 1 buah AC Voltmeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osiloskop, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osiloskop!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan rangkaian seperti gambar di bawah ini, atur tegangan pada 8 Volt efektif, pada frekuensi 1 KHz.



2. Gunakan voltmeter, ukur dan catat tegangan efektif pada masing-masing resistor.
3. Ulangi langkah 2 , hitung tegangan Peak-to Peak pada masing-masing resistor dan tegangan sumber.
4. Gunakan osiloskop , ukur dan catat tegangan *Peak to Peak*,pada masing –masing resistor, Coba kalian bandingkan hasil perhitungan pada langkah 3 dengan langkah 4 hasil pengukuran.

6. KESIMPULAN

1. JUDUL : Mengukur dan Menganalisa RC pada rangkaian AC

2. TUJUAN : - Menganalisa arus, tegangan dan frekuensi RC pada rangkaian AC

3. PERALATAN DAN BAHAN :

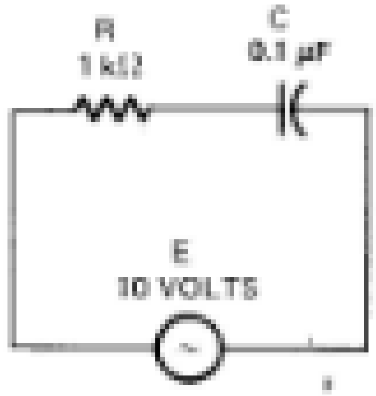
- 1 buah Sumber tegangan AC
- 1 Buah Pembangkit sinyal Generator
- 1 buah Resistor 220 Ω
- 1 buah Kapasitor 0,1 μF
- 1 buah Kapasitor 0,2 μF
- 1 buah Kapasitor 0,3 μF
- 1 buah Osiloskop
- 1 buah AC Voltmeter
- 1 Buah milliammeter, 0-30mA

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osiloskop, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osiloskop!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan rangkaian seperti gambar di bawah ini, atur tegangan pada 10 Volt efektif, pada frekuensi 1 KHz.



2. Ukur dan catat tegangan pada tahanan dan kapasitor
3. Sumber frekuensi diatur di mulai dari 2 KHz sampai dengan 10 KHz, pada setiap kenaikan frekuensi 1 KHz dilakukan pengukuran tegangan pada tahanan dan kapasitor.
4. Gunakan data pada langkah ke 2 dan 3 untuk menghitung arus dan cata dengan menggunakan rumus :

$$I = \frac{VR}{R}$$

5. Gunakan data hasil pengukuran pada langkah 2 dan 3 dan hasil perhitungan pada langkah 4,hitung dan catat reaktansi kapasitif pada frekuensi dari mulai 1 KHz sampai dengan 10 KHz. Dengan menggunakan rumus

$$Xc = \frac{Vc}{I}$$

6. Gantilah capasitor 0,1µF dengan 0,2 µF , atur freukensi pada 1 KHz, ulangi langkah 2 sampai dengan 5.catatlah hasil pengukurannya.
7. Ulangi langkah ke 6 dengan mengganti capasitor 0,3 µF dan catat hasil pengukurannya.

7.KESIMPULAN

1. JUDUL : Mengukur dan Menganalisa RC pada rangkaian AC

2. **TUJUAN : -** Menganalisa arus, tegangan dan frekuensi RC pada rangkaian AC

3. PERALATAN DAN BAHAN :

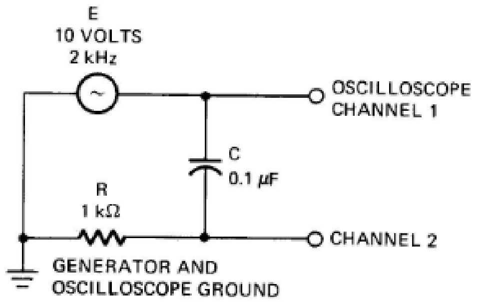
- 1 buah Sumber tegangan AC
- 1 Buah Pembangkit sinyal Generator
- 1 buah Resistor 1K Ω
- 1 buah Resistor 2,2 KΩ
- 1 buah kapasitor 0,1μF
- 1 buah Osiloskop, dual Trace
- 1 buah AC Voltmeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

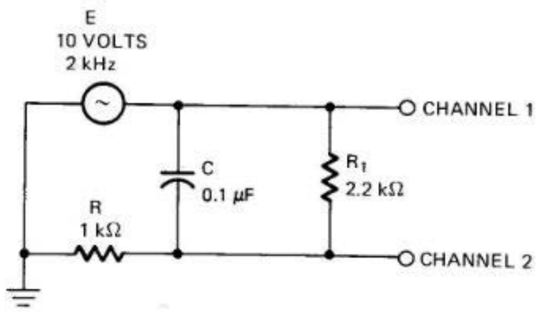
1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osiloskop, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osiloskop!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan rangkaian seperti gambar di bawah ini, atur tegangan pada 10 Volt efektif, pada frekuensi 2 KHz.



2. Ukur dan catat tegangan efektif pada masing-masing komponen dengan voltmeter, amati bentuk sinus dan sudut phasa dengan menggunakan osiloskop.
3. Naikkan frekuensi pada 4 KHz, dan ulangi langkah 2.
4. Naikkan frekuensi pada 6 KHz, dan ulangi langkah 2,pada saat dinaikkan frekuensinya amati bentuk sinus dan sudut phasa pada osiloskop.
5. Atur frekuensi pada 2 KHz, dan resistor dengan nilai 2,2 KΩ, dengan menyusun rangkaian seperti gambar dibawah ini.



6. Ulangi langkah 2 sampai dengan 4, amati dan catat hasilnya

6.KESIMPULAN

1. **JUDUL : Mengukur dan Menganalisa RLC pada rangkaian AC**

2. **TUJUAN : -** Menganalisa arus, tegangan dan frekuensi RL pada rangkaian AC

3. PERALATAN DAN BAHAN :

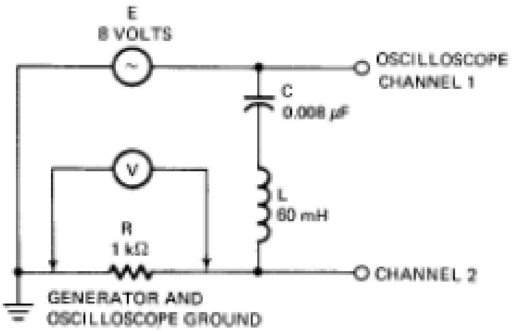
- 1 buah Sumber tegangan AC
- 1 Buah Pembangkit sinyal Generator
- 1 buah Resistor 1 K Ω
- 1 buah kapasitor 0,008μF
- 1 buah induktor, 60 mH
- 1 buah Osiloskop, dual Trace
- 1 buah AC Voltmeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

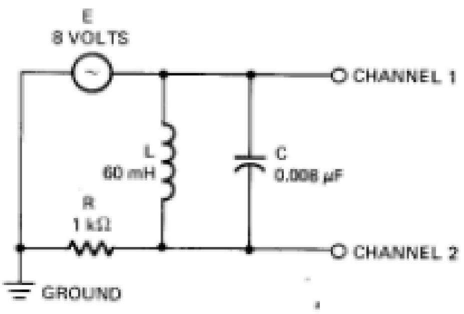
1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osiloskop, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osiloskop!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Atur frekuensi pada 1 KHz, dengan tegangan efektif 8 volt AC, Sumber pembangkit



2. Ukur dan catat teganga efektif pada masing-masing komponen, Apakah sudut phasanya mendahului atau tertinggal?
3. Atur sumber frekuensi pada 2 KHz, ukur dan catat masing-masing komponen untuk teganga efektif dan sudut phasanya!
4. Ulangi langkah 3, dengan frekuensi 2 Khz sampai dengan 15 KHz, pada saat frekuensi di 15 KHz, apakh sudut phasanya mendahului atau tertinggal?
5. Hubungkan rangkaian seperti pada gambar dibawah ini,ukur dan catat tegangan pada masing-masing komponen,dan sudut phasanya, apakah mendahului atau tertinggal?



6. Ulangi langkah 2 sampai dengan 4, ukur dan catat tegangan pada masing-masing komponen,dan sudut phasanya, apakah mendahului atau tertinggal?

KESIMPULAN

1. JUDUL : Rangkaian Resistor-Induktor (RL) Seri

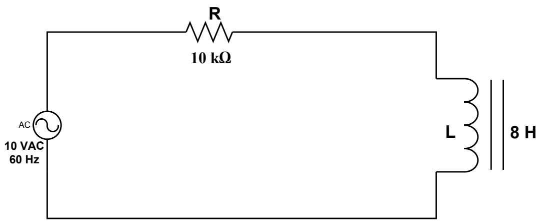
2. **TUJUAN : -** Menganalisa rangkaian seri RL
-Menghitung penjumlahan vektor,menggambar *phasor*

3. PERALATAN DAN BAHAN :

- Sumber tegangan AC
- Resistor 10 kΩ
- Induktor 8 H
- Multimeter

4. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Rangkailah rangkaian RL seri seperti pada gambar di bawah ini:

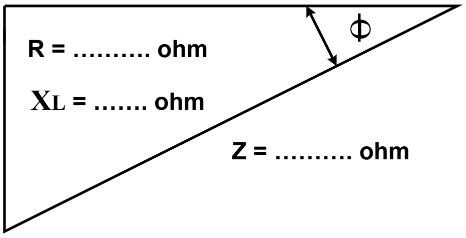


2. Hitung di bawah ini :
   a. Reaktansi Induktif (XL) = 2πfL = ___________ Ohm.
   b. Impedansi (Z) =$\sqrt{R^2 + X_L{}^2}$ =___________ Ohm.

3. Gunakan multimeter untuk mengukur :
   a. Tegangan pada resistor (VR) =___________ volt AC
   b. Tegangan pada induktor (VL) =___________ volt AC
   c. Arus yang melewati rangkaian (IT) =___________ ampere AC

4. Coba tentukan impedansi pada rangkaian di bawah ini dengan rumus :
   a. IT = $\frac{V_R}{R}$ =___________ ampere
   b. ZT = $\frac{V_R}{I_T}$ =___________ ohm

5. Lengkapi impedansi pada segitiga di bawah ini dan buatlah serta hitung nilai dari R, XL, dan Z :



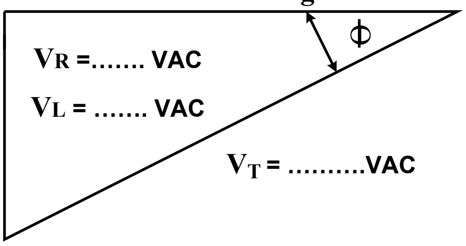
6. Hitung *drop* tegangan pada rangkaian :
   a. VR = IT x R = _________ volt AC
   b. VL = IT x XL = _________ volt AC

7. Hitunglah *vector* tegangan sesuai dengan nilai yang dimasukan :

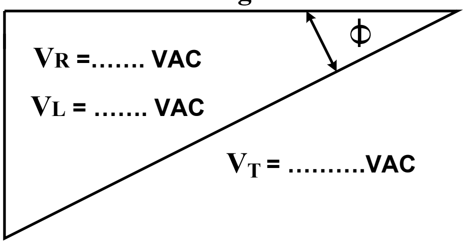
   VT = $\sqrt{V_R^2 + V_L^2}$ =___________ Volt AC

8. Lengkapi tegangan pada segitiga pada rangkaian, hasil perhitungan dan nilai pengukuran pada V_T, V_R, dan V_L

Hasil Perhitungan

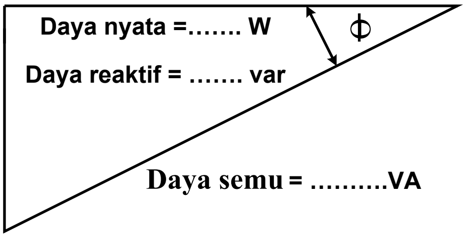


Hasil Pengukuran



9. Hitung perubahan daya pada rangkaian :
   a. Daya nyata (watt) = I_T x V_R = _________ watt
   b. Daya semu (voltampere) = I_T x V_T =_________ voltampere
   c. Daya reaktif (var) = I_T x V_L = _________ var

10. Lengkapi daya pada rangkaian pada segitiga di bawah ini, hitung nilai daya nyata, daya semu, dan daya reaktif :



11. Simpulkan percobaan dari langkah kerja ini.

Analisis :

1. Mengapa harus pada rangkaian RL seri *vector* tegangannya dijumlahkan ?
   …………………………………………………………………………………………
   …………………………………………………………………………………………
   …………………………………………………………………………………………
   ……………………………………….

2. Bandingkan nilai perhitungan dan pengukuran di bawah ini :

Nilai	Perhitungan	Pengukuran
I_T		
Z		
V_R		
V_L		

3. Apakah faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan dari hasil perhitungan dan pengukuran ?
   …………………………………………………………………………………………
   …………………………………………………………………………………………

4. Tentukan sudut fasa pada rangkaian di bawah ini dengan metode trigonometri :
   a. Sudut fasa (∅) = arc tan $\frac{X_L}{R}$ = …………
   b. Sudut fasa (∅) = arc tan $\frac{V_L}{V_R}$ = …………
   c. Sudut fasa (∅) = arc tan $\frac{Var}{W}$ = …………

5. Tentukan *factor* daya pada rangkaian :

   Factor daya (pf) = $\frac{Daya\ Nyata}{Daya\ semu}$ =…………..

6. Tentukan *cosinus* dari sudut fasa (∅). Nilainya harus sama dengan *factor* daya pada rangkaian (pf = *cosinus* ∅).
   Cosinus ∅ = …………………

1. JUDUL : Rangkaian Seri *Resistive-Capacitive* (RC) Seri

2.TUJUAN : **-** Menganalisa rangkaian seri RC
- Menghitung penjumlahan vektor,menggambar *phasor*

.

3.PERALATAN DAN BAHAN :

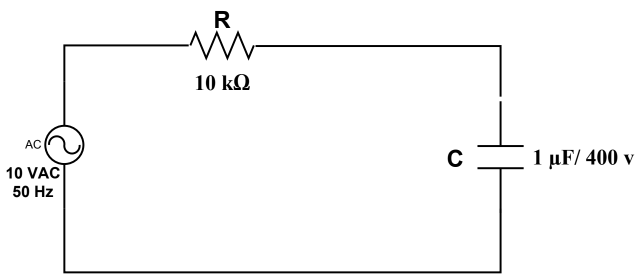
- 1 buah sumber Tegangan AC
- 1 buah resistor 10 kΩ
- 1 buah *Capasitor* 1 μF
- 1 buah Multimeter

4. KESELAMATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi *osiloskop*, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan *osiloskop*!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Buatlah rangkaian RC seri seperti pada gambar di bawah ini.



2. Hitunglah berikut ini :

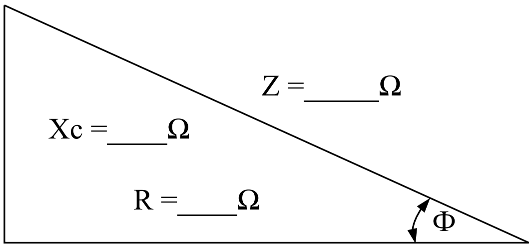
(a) Reaktansi kapasitif (Xc) = $\frac{1}{2\pi fC}$ = __________ohm

(b) Impedansi (Z) = $\sqrt{R^2 + Xc^2}$ = _____________ohm

3. Dengan multimeter, ukurlah nilai berikut :
   (a) Tegangan resistor (V_R) =__________________volt AC.
   (b) Tegangan *capasitor* (V_C) =_________________volt AC.
   (c) Arus yang melalui rangkaian (I_T) =_________ampere AC.

4. Hitunglah impedansi pada rangkaian menggunakan rumus berikut:
   (a) $I_T = \frac{V_R}{R}$ =___________ampere.
   (b) $Z_T = \frac{V_T}{I_T}$ =___________ohm.

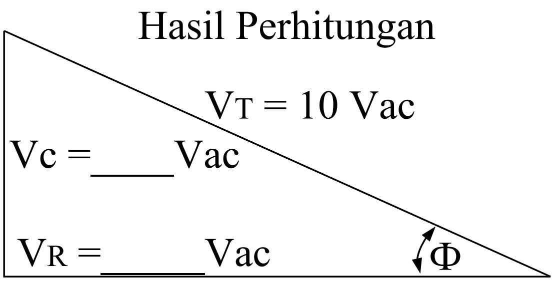
5. Lengkapi segitiga impedansi berikut ini sesuai rangkaian yang telah dibuat dengan menggunakan nilai R, Xc, dan Z yang telah dihitung :

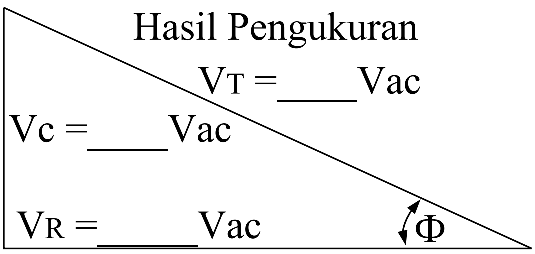


6. Hitunglah *drops* tegangan pada rangkaian :
   (a) $V_R = I_T \times R$ =_______volt AC.
   (b) $V_C = I_T \times X_C$ =_______ volt AC.

7. Buktikan tegangan yang dijumlahkan *vector* dengan nilai yang anda hitung :
   $V_T = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$ =________volt AC.

8. Lengkapi segitiga tegangan berikut mengunakan perhitungan tersebut, nilai yang diukur :





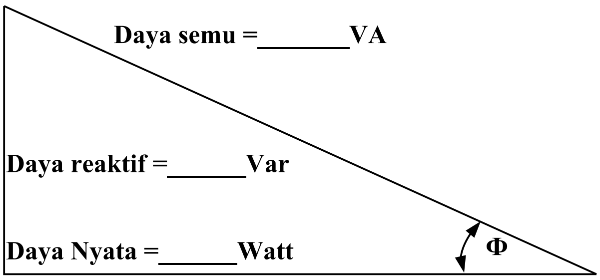
9. Hitunglah perubahan daya pada rangkaian tersebut :

   (a) Daya nyata = $I_T \times V_R$ = _________watt.

   (b) Daya semu = $I_T \times V_T$ =______VA.

   (c) Daya reaktif = $I_T \times V_c$ =________var.

10. Lengkapi segitiga tegangan berikut menggunakan nilai perhitungan daya nyata, daya semu, dan daya reaktif :



11. Simpulkan hasil percobaan diatas.

Analisa :

1. Bandingkan nilai perhitungan dan nilai pengukuran pada *table* berikut ini :

Nilai	**Perhitungan**	**Pengukuran**
I_T		
Z		
V_R		
V_C		

2. Tentukan sudut fasa pada rangkaian dengan menggunakan metode trigonometri berikut :

   (a) Sudut fasa (Ø) = arc tan $\frac{X_C}{R}$ = ________

   (b) Sudut fasa (Ø) = arc tan $\frac{V_C}{V_R}$ = ________

   (c) Sudut fasa (Ø) = arc cos $\frac{W}{VA}$ = ________

3. Tentukan faktor daya pada rangkaian :

   Faktor daya (pf) = $\frac{\text{daya nyata}}{\text{daya semu}}$ = ________

4. Tentukan nilai cos pada sudut fasa, dan nilai ini harus sama dengan faktor daya pada rangkaian.

   Cos Ø =

1. JUDUL : Rangkaian Seri Resistor- Induktor-*Capasitor* (RLC)

2.TUJUAN : - Menganalisa rangkaian seri RLC

- Menghitung penjumlahan vektor dan menggambar *phasor*

.

3.PERALATAN DAN BAHAN :

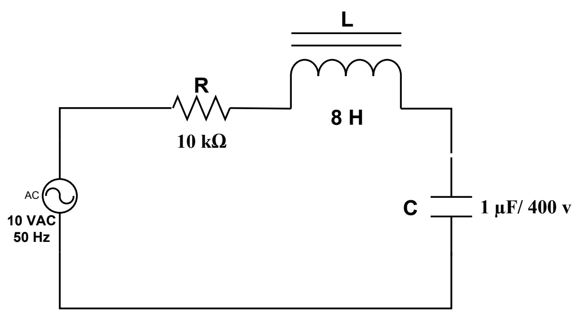
- 1 buah sumber tegangan AC
- 1 buah resistor 10 kΩ
- 1 buah Kapasitor 1 μF
- 1 buah induktor 8 H
- 1 buah multimeter

4. KESELAMATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi *osiloskop*, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan *osiloskop*!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Buatlah rangkaian RCL seri pada gambar di bawah ini.



2. Hitunglah :

a. Reaktansi kapasitif (X_C) = $\frac{1}{2\pi f C}$ =__________ohm.

b. Reaktansi Induktif (X_L) = $2\pi fL$ =__________ohm.

c. Reaktansi Total (X_T) = X_L - X_C =__________ohm.

d. Impedansi (Z) = $\sqrt{(R^2 + (XL - XC)^2}$ =__________ohm.

3. Lakukan pengukuran dengan multimeter, ukurlah nilai :

a) Tegangan yang melewati kapasitor (V_C)=__________volts AC.

b) Tegangan yang melewati induktor (V_L)=__________volts AC.

c) Tegangan yang melewati resistor (V_R)=__________volts AC.

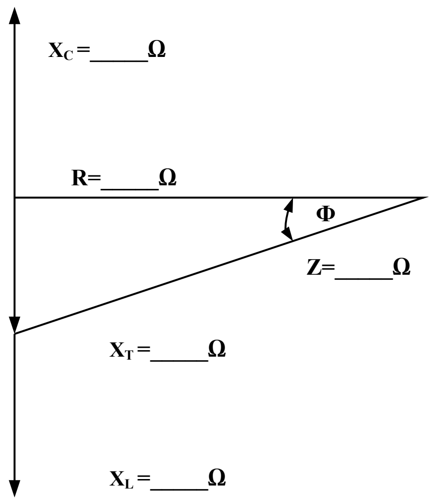
d) Total arus yang melewati rangkaian (I_T)=__________amperes AC.

4. Hitunglah impedansi pada rangkaian dengan menggunakan metode:

a) $I_T = \frac{VR}{R}$=__________ampere.

b) $Z_T = \frac{VT}{IT}$=__________ohm.

5. Lengkapi segitiga impedansi berikut sesuai dengan rangkaian yang dibuat dengan menggunakan nilai yang telah dihitung dari R, X_C, X_L, dan Z :



6. Hitung *drop* tegangan pada rangkaian dengan:

a) $V_R = I_T \times R$ =________volts AC.

b) $V_C = I_T \times X_C$=________volts AC.

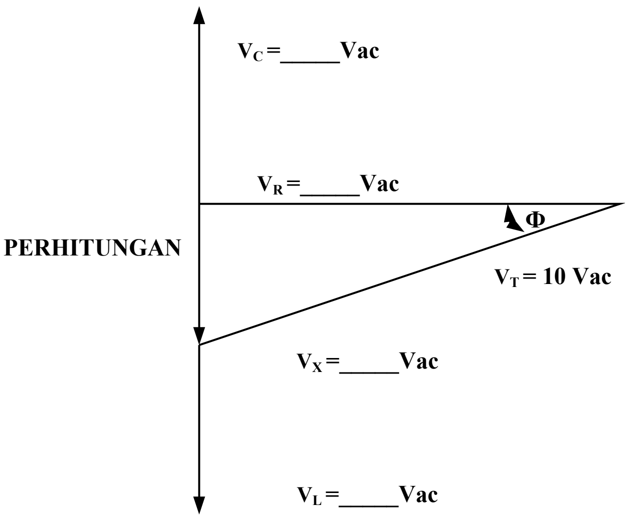
c) $V_L = I_T \times X_L$=_________volts AC.

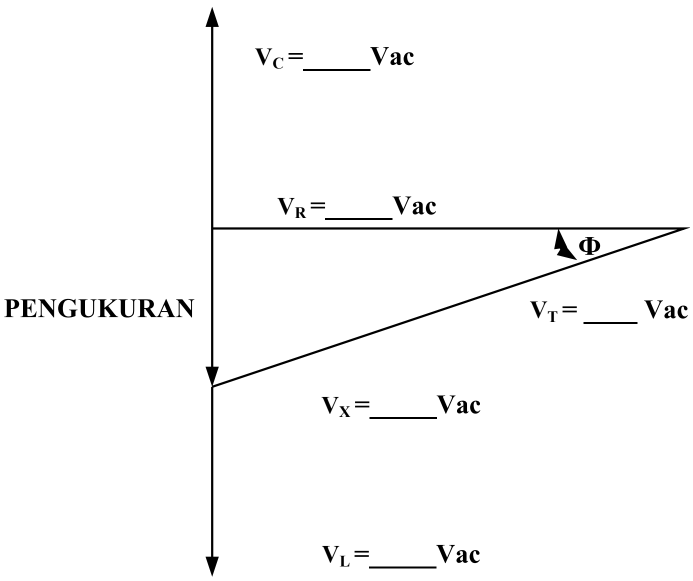
d) $V_X = V_L - V_C$=_________volts AC.

7. Buktikan bahwa tegangan harus dijumlahkan menggunakan rumus vektor :

   $V_T = \sqrt{VR^2 + (VL - VC)^2}$ =________volts AC.

8. Lengkapi segitiga tegangan berikut untuk rangkaian yang dibuat dengan menggunakan nilai yang diukur dari VT, VR, VL dan VC :





9. Hitung perubahan daya pada rangkaian :

a) Daya nyata = IT x VR = _________watt.

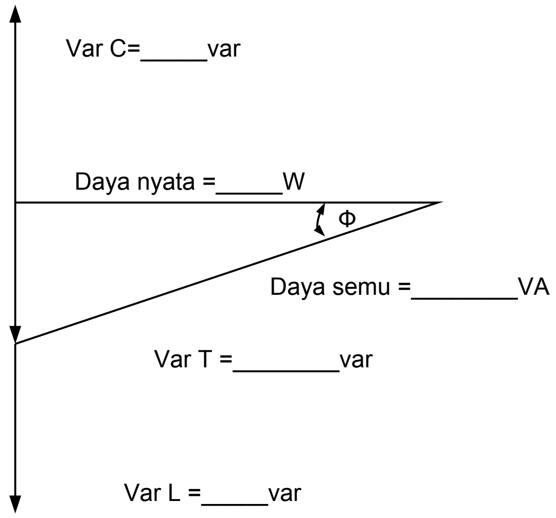
b) Daya semu = IT x VT =_________VA.

c) Daya reaktif *capasitif* (var C) = IT x VC = __________var.

d) Daya reaktif induktif (var L) = IT x VL= __________var.

e) Total daya reaktif (var T) = IT x VX = __________var.

10. Lengkapi segitiga daya berikut untuk sirkuit rangkaian yang dibuat dengan menggunakan nilai yang dihitung dari daya nyata, daya semu dan daya reaktif :



11. Buatlah kesimpulan dari percobaan .

Analisa :

1. Bandingkan nilai perhitungan dengan pengukuran berikut :

Nilai	Perhitungan	Pengukuran
I_T		
Z		
V_R		
V_C		
V_L		

2. Tentukan sudut fasa dari rangkaian dengan menggunakan metode trigonometri :
   a. Sudut fasa (φ) = arc tan $\frac{XT}{R}$ =_______
   b. Sudut fasa (φ) = arc tan $\frac{VX}{VR}$ =_______
   c. Sudut fasa (φ) = arc tan $\frac{var\,T}{W}$ =_______

3. Tentukan faktor daya dari rangkaian tersebut :

   Faktor daya (PF) = $\frac{Daya\ nyata}{Daya\ semu}$ =________

4. Tentukan *cosinus* dari sudut fase. Nilai ini harus sama dengan faktor daya rangkaian.

   Cosinus φ =________

5. Bagaimana rangkaian percobaan ini menunjukkan perbaikan faktor daya?

   ____

   _

   _

1. JUDUL : Rangkaian Resistor-*Capasitor* (RC) paralel

2.TUJUAN : - Menganalisa rangkaian paralel RC

- Menghitung penjumlahan vektor,menggambar *phasor*

.

3.PERALATAN DAN BAHAN :

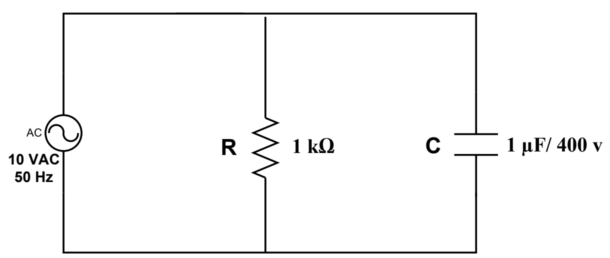
- Sumber tegangan AC
- Resistor 1 kΩ
- *Capasitor* 1 μF/ 400 v
- Multimeter

4. KESELAMATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi *osiloskop*, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan *osiloskop*!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Rangkailah rangkaian paralel RC seperti pada gambar di bawah ini.



2. Hitunglah di bawah ini

(a) Reaktansi kapasitif $(Xc) = \frac{1}{2\pi f C} =$ _________Ω

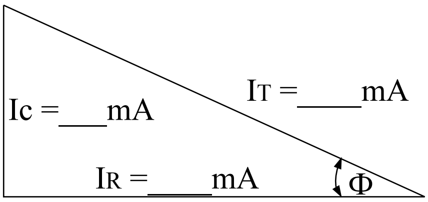
(b) Arus yang melalui resistor $(I_R) = \frac{V}{R} =$ _________ampere

(c) Arus yang melalui kapasitor $(I_C) = \frac{V}{X_C} =$ _________ampere

(d) Arus total $(I_T) = \sqrt{I_R{}^2 + I_C{}^2} =$ _________ampere

(e) Impedansi $(Z) = \frac{V}{I_T} =$ _________Ω

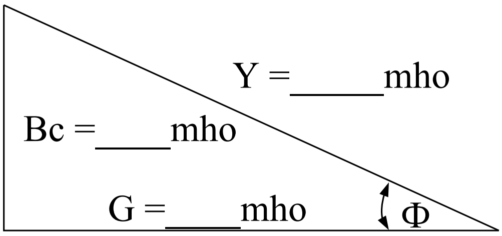
3. Lengkapi segitiga arus di bawah ini dengan menggunakan nilai pada langkah ke 2



4. Ukurlah nilai arus AC berikut
   (a) arus yang melalui resistor $(I_R) =$ _________ampere
   (b) arus yang melalui kapasitor $(I_C) =$ _________ampere
   (c) Arus total $(I_T) =$ _________ampere

5. Hitunglah nilai di bawah ini
   (a) Admitansi $(Y) = \frac{1}{Z} =$ _________mho / siemens
   (b) Konduktansi $(G) = \frac{1}{R} =$ _________mho / siemens
   (c) Kapasitif suseptansi $(B_C) = \frac{1}{X_C} =$ _________mho / siemens

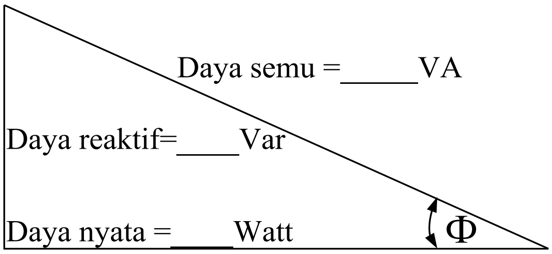
6. Lengkapi segitiga admitansi di bawah ini



7. Hitung daya yang diubah dalam rangkaian tersebut :

   (a) Daya nyata $= I_{R^2} \times R =$ _________watt
   (b) Daya semu $= I_{T^2} \times Z =$ _________VA
   (c) Daya reaktif $= I_{C^2} \times X_C =$ _________var

8. Lengkapi segitiga daya berikut ini



9. Simpulkanlah dari percobaan tersebut

Analisa

1. Bandingkanlah nilai yang dihitung dengan pengukuran pada tabel berikut

Nilai	Perhitungan	Pengukuran
$\boldsymbol{I_R}$		
$\boldsymbol{I_C}$		
$\boldsymbol{I_T}$		

2. Tentukan sudut fasa $\varnothing$ dari rangkaian tersebut dengan menggunakan metode trigonometri berikut :

   (a) Sudut fasa $(\varnothing) = arc\,sin\frac{I_C}{I_T} =$ __________

   (b) Sudut fasa $(\varnothing) = arc\,tan\ \frac{var}{W} =$ __________

3. Tentukanlah nilai dari :

   (a) $\cos\sin\varnothing =$ __________

   (b) Faktor daya $= \frac{Daya\ nyata}{Daya\ semu} =$ __________

4. Dan saat dipasang induktor 8 Henry pada rangkaian tersebut secara paralel maka hitunglah :

   (a) $X_L = 2\pi f L =$ __________Ω

   (b) $I_L = \frac{V}{X_L} =$ __________ampere

   (c) $I_X = I_L - I_C =$__________ampere

   (d) $I_T = \sqrt{{I_R}^2 + {I_X}^2} =$ __________ampere

   (e) $Z = \frac{V}{I_T} =$ __________Ω

(f) $\emptyset = arc\ sin\ \frac{I_X}{I_T} =$ ___________

(g) $Pf = \cos\emptyset =$ ___________

5. Bagaimana nilai faktor daya pada rangkaian saat tanpa dipasang induktor mendapat hasil berbeda dengan rangkaian saat dipasang induktor ? mengapa ?

–

–

–

–

6. Mengapa arus total berbeda setelah dipasang induktor ?

–

–

–

1.JUDUL : INDUKTANSI di Rangkaian AC

2.TUJUAN : - Untuk mengamati efek dari induktansi dari rangkaian arus bolak-balik.

.

3.PERALATAN DAN BAHAN :

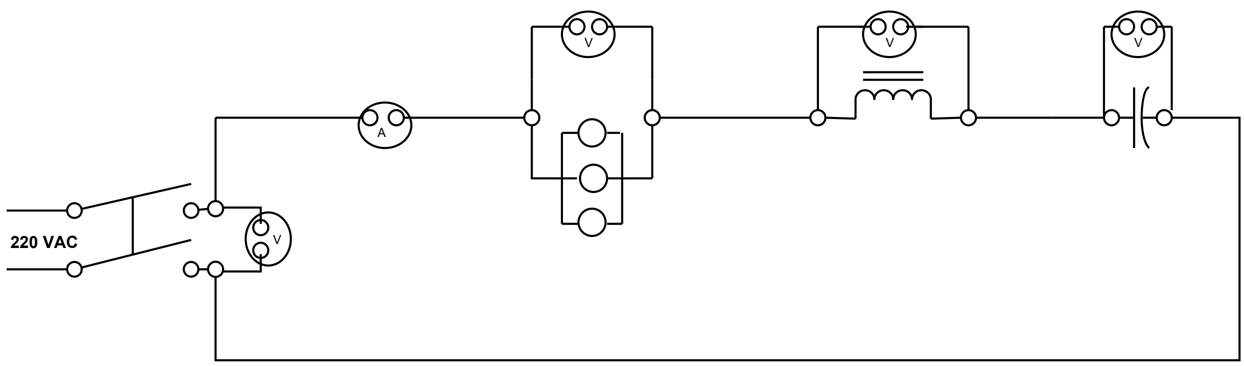
- 1 - Voltmeter AC
- 1 - Amperemeter (0-5A)
- 1 - Bank lampu (lampu pijar 40W,60W,100W)
- 1 - Saklar pemutus DPST
- *Ballast* 10W, 20W, 40W
- *Kapasitor 3,25 μF, 4,5 μF,7,5μF*
- Kabel Penghubung

4. KESELAMATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
3. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
4. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan peralatan seperti yang ditunjukan di gambar 14-28



2. Rangkailah peralatan sesuai dengan gambar rangkaian (percobaan pertama adalah rangkaian seri RL dengan menggunakan lampu pijar sebagai beban R dan *Ballast* sebagai beban L)
3. Selesai merangkai, periksakan rangkaian anda pada guru/instruktur
4. Setelah diperiksa dan disetujui guru/instruktur, hubungkan rangkaian ke sumber tegangan
5. Baca penunjukkan semua alat ukur dan catat hasilnya pada tabel hasil pengukuran pada tegangan 220 V
6. *Off*-kan saklar S,pasang kembali *ballast* sehingga rangkaian terdiri dari R, L dan C
7. Selesai melakukan pengukuran, *off* kan saklar S,hitunglah nilai-nilai;U, R,X_{BL},X_c,Z,Cos φ. Bila anda kurang puas dengan hasil pengukuran, silahkan ulangi lagi melakukan percobaan dan pengukuran
8. Selesai melakukan percobaan putuskan hubungan dengan sumber tegangan,rapikan alat dan bahan serta kembalikan pada tempat semula
9. Selesaikanlah laporan anda

TUGAS DAN PERTANYAAN

1. Hitunglah nilai-nilai; U, R,X_{BL},X_c,Z,Cos φ,dan tabulasikan ke dalam tabel hasil perhitungan
2. Lukislah vektor diagram tegangan masing-masing percobaan untuk tegangan 220 V
3. Bandingkanlah hasil perhitungan tegangan total dengan hasil pengukuran
4. Melalui analisis vektor hitunglah nilai induktansi *ballast* dan kapasitansi kapasitor serta faktor daya rangkaian
5. Berilah komentar anda terhadap hasil-hasil pengukuran dan perhitungan dalam bentuk analisis data
6. Buatlah kesimpulan dari percobaan ini

TABEL HASIL PENGUKURAN

Rangkaian	U	UR	UBL	UC	URL	I
RL Seri						
RC Seri						
RLC Seri						

PENGOLAHAN DATA

TABEL HASIL PENGHITUNGAN

Rangkaian	U	R	XBL	XC	Z	Cos φ
RL Seri						
RC Seri						
RLC Seri						

VEKTOR DIAGRAM

1.JUDUL : INDUKTANSI di Rangkaian AC

2.TUJUAN : - Untuk mengamati efek dari induktansi dari rangkaian arus bolak-balik.

.

3.PERALATAN DAN BAHAN :

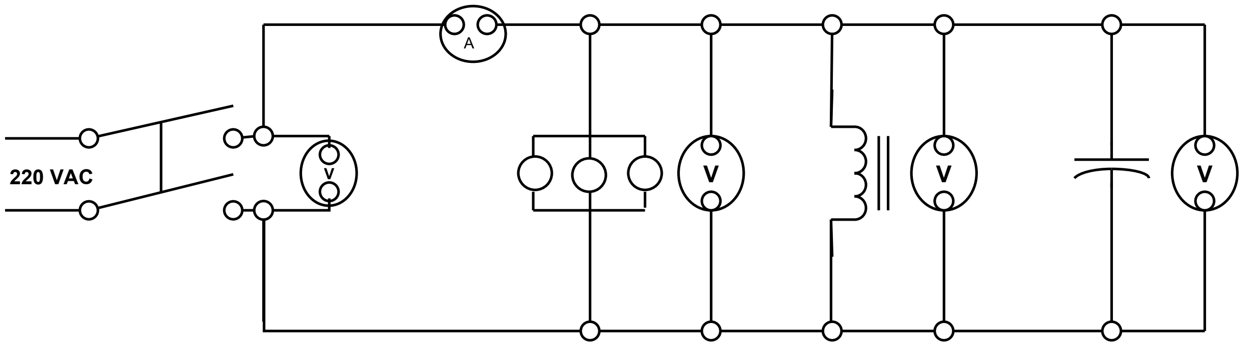
- 1 - Voltmeter AC
- 1 - Amperemeter (0-5A)
- 1 - Bank lampu (lampu pijar 40W,60W,100W)
- 1 - Saklar pemutus DPST
- *Ballast* 10W, 20W, 40W
- Kapasitor *3,25 μF, 4,5 μF,7,5μF*
- Kabel Penghubung

4. KESELAMATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
3. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
4. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan peralatan seperti yang ditunjukan di gambar di bawah ini



2. Rangkailah peralatan sesuai dengan gambar rangkaian (percobaan pertama adalah rangkaian seri RL dengan menggunakan lampu pijar sebagai beban R dan *Ballast* sebagai beban L)
3. Selesai merangkai, periksakan rangkaian anda pada guru/instruktur
4. Setelah diperiksa dan disetujui guru/instruktur, hubungkan rangkaian ke sumber tegangan
5. Baca penunjukkan semua alat ukur dan catat hasilnya pada tabel hasil pengukuran pada tegangan 220 V
6. *Off*-kan saklar S,pasang kembali *ballast* sehingga rangkaian terdiri dari R, L dan C
7. Selesai melakukan pengukuran, *off* kan saklar S,hitunglah nilai-nilai;U, R,X_{BL},X_c,Z,Cos φ.Bila anda kurang puas dengan hasil pengukuran, silahkan ulangi lagi melakukan percobaan dan pengukuran
8. Selesai melakukan percobaan putuskan hubungan dengan sumber tegangan,rapikan alat dan bahan serta kembalikan pada tempat semula
9. Selesaikanlah laporan anda

TUGAS DAN PERTANYAAN

1. Hitunglah nilai-nilai; U, R,X_{BL},X_c,Z,Cos φ,dan tabulasikan kedalam tabel hasil perhitungan
2. Lukislah vektor diagram tegangan masing-masing percobaan untuk tegangan 220 V
3. Bandingkanlah hasil perhitungan tegangan total dengan hasil pengukuran
4. Melalui analisis vektor hitunglah nilai induktansi *ballast* dan kapasitansi kapasitor serta faktor daya rangkaian
5. Berilah komentar anda terhadap hasil-hasil pengukuran dan perhitungan dalam bentuk analisis data
6. Buatlah kesimpulan dari percobaan ini

TABEL HASIL PENGUKURAN

Rangkaian	U	I^{R}	I_{BL}	I_{C}	I_{RL}	I
RL Seri						
RC Seri						
RLC Seri						

PENGOLAHAN DATA

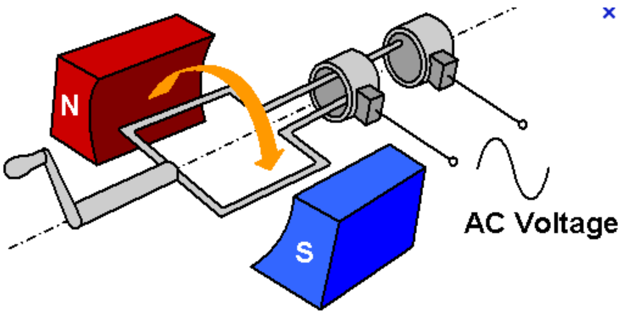
Rangkaian	U	R	XBL	XC	Z	Cos φ
RC PARALEL						
RC PARALEL						
RC PARALEL						

VEKTOR DIAGRAM

Kegiatan Belajar 2: Menganalisa rangkaian Magnetik

A. Uraian Materi

Pada saat kalian SMP kelas 3 pada mata pelajaran IPA sudah mempelajari teori kemagnetan, medan magnet,kemagnetan bumi,elektro magnetik, gaya *lorenz* dan transformator. Di Kelas X pada semester genap ini, kalian akan mempelajari tentang Rangkaian magnetik yang merupakan basis dari sebagian terbesar peralatan listrik di industri maupun rumah tangga. Motor dan generator dari yang berkemampuan kecil sampai dengan yang sangat besar, berbasis pada medan magnetik yang memungkinkan terjadinya konversi energi listrik.



Gambar 2.1 Medan magnet konversi energi listrik

1. Kemagnetan

Tugas 2.1 Mengamati Terjadinya Medan Magnet menghasilkan energi listrik

Dari gambar 2.1 di atas coba kalian diskusikan bagaimana terjadinya medan magnet sehingga menghasilkan energi listrik?

Di kegiatan pembelajaran ini kalian akan mempelajari hukum-hukum dasar, perhitungan dalam rangkaian magnetik, rugi-rugi dan gaya magnetik, induktor dan induktansi bersama.

1.1 Gaya Magnet

Fenomena kemagnetan banyak bergantung pada sifat-sifat medium perantara yaitu permeabilitas. Setiap medium perantara mempunyai dua macam permeabilitas yaitu permeabilitas absolut yang biasanya dinotasikan dengan simbol (μ) dan permeabilitas relatif yang biasanya dinotasikan dengan simbol (μ_r).

Permeabilitas absolut ruang hampa atau udara bebas (μ_0) = 4π x 10^{-7} (henry/meter) sedangkan permeabilitas relatifnya (μ_r) adalah 1.

Permeabilitas setiap medium perantara ditentukan berdasarkan patokan pada permeabilitas ruang hampa. Apabila permeabilitas realtif suatu medium dengan patokan pada permeabilitas ruang hampa adalah μ_r maka permeabilitas absolutnya adalah sebagai berikut :

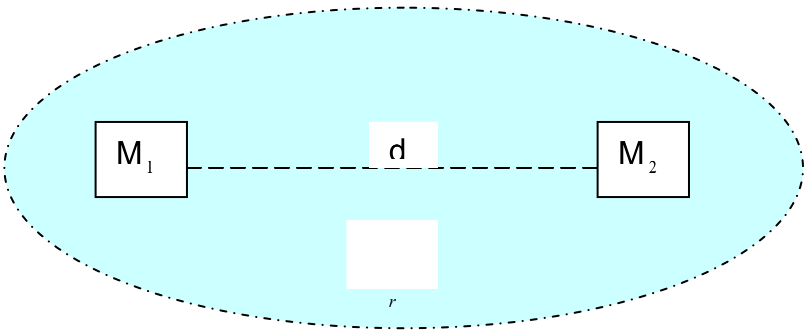
$\mu = \mu_0\mu_r$ (henry/meter).Tuan Coulomb adalah orang pertama yang mengadakan pengamatan untuk menentukan pernyataan kualitatif terhadap adanya gaya magnet (F) antara dua buah kutup magnet. Dari hasil pengamatannya dikatakan bahwa :

1). Gaya magnet berbanding lurus dengan hasil kali kuat kutup magnet.

2). Gaya magnet berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua kutup magnetnya

3). Gaya magnet berbanding terbalik dengan permeabilitas absolut medium perantara.Secara matematis, hasil pengamatan tuan Coulomb ini dapat dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{1}{4\pi \mu_0 \mu_r} x \frac{m_1 m_2}{d^2} \quad \text{(newton)}$$



Gambar 2-1.1 Representasi gaya magnet pada dua buah kutup magnet dalam suatu medium perantara

dimana :

m_1 = kuat kutup magnet pertama (M_1), dalam satuan Weber

m_2 = kuat kutup magnet kedua (M_2), dalam satuan Weber

1.2 Bahan-bahan Magnet

Bahan-bahan yang mempunyai sifat dapat ditarik oleh magnet disebut bahan magnet. Berdasarkan sifat tersebut maka bahan-bahan magnet diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut :

a) Bahan fero magnit; bahan ini mempunyai sifat daya tarik yang kuat sekali oleh magnet. Bahan-bahan dimaksud adalah besi, baja, nikel, *cobalt* dan logam-logam campuran tertentu. Umumnya bahan-bahan ini mempunyai permeabilitas relatif yang tinggi sekali dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya.

b) Bahan paramagnet; jenis bahan ini mempunyai daya tarik yang tidak terlalu kuat oleh magnet. Bahan-bahan dimaksud adalah aluminium, timah, platina, magnesium, mangan dan lain-lain. Umumnya bahan ini mempunyai permeabilitas relatif lebih besar dari satu. Bahan ini akan menjadi magnet yang tidak begitu kuat jika ditempatkan dalam suatu medan magnet dari magnet yang kuat. Bahan paramagnet yang telah menjadi magnet ini akan menimbulkan medan magnet dengan arah yang sama dengan arah medan magnet pertama.

c) Bahan dia magnet; Jenis bahan ini mempunyai sifat ditolak oleh magnet. Bahan-bahan dimaksud adalah seng, merkuri, timah hitam, sulfur,t embaga, perak dan lain-lain.Umumnya bahan-bahan ini mempunyai permeabilitas lebih kecil dari satu. Apabila bahan-bahan tersebut ditempatkan dalam medan magnet dari suatu magnet yang kuat maka bahan-bahan tersebut akan menjadi magnet yang kekuatannya relatif kecil sekali. Medan magnet yang dibangkitkan bahan diamagnet setelah menjadi magnet mempunyai arah berlawanan dengan arah medan magnet pertama. Bahan paramagnet dan bahan diamagnet biasanya disebut bahan-bahan non magnet.

1.3 Besaran-besaran magnet

a) Intensitas medan magnet

Intensitas medan magnet pada suatu titik yang terletak dalam suatu medan magnet dinyatakan sebagai besarnya gaya yang dialami suatu kutub magnet utara sebesar satu Weber jika kutub magnet utara ini terletak pada titik tersebut.Intensitas medan magnet (H) pada suatu titik A yang berjarak r meter dari sebuat kutub magnet sebesar m Weber dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$H= F/m = [(mm/4\pi\mu r^2)/m]$$

$$= [(m/(4\pi\mu r^2)] \text{ (newton/weber)}$$

$$= [m/(4\pi\mu r^2)][(\text{ampere-turn})/(\text{meter})]$$

catatan :

(newton/weber) = [(ampere-turn)/(meter)]

(newton/weber) biasanya disingkat dengan (N/wb) sedangkan

[(ampere-turn)/(meter)] biasanya disingkat dengan (AT/m)

b) Potensial magnet

Potensial magnet (M) suatu titik yang berada dalam suatu medan magnet lain, ditentukan oleh besarnya usaha yang diperlukan untuk memindahkan kutub magnet utara sebesar 1 Weber dari suatu tempat tidak berhingga ke titik tersebut. Secara matematis, potensial magnet (M) dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$M= (m/(4\pi\mu r)(\text{joule/weber})$$

c) Fluksi magnet per kutub

Satu kutup magnet utara menghasilkan fluksi magnet (Φ) sebesar 1 weber. Jadi fluksi magnet yang keluar dari kutub magnet utara sebesar m weber adalah m weber.

d) Kerapatan fluksi magnet

Kerapatan fluksi magnet (B) adalah jumlah fluksi magnet yang melewati satu satuan luas permukaan secara tegak lurus. Apabila jumlah fluksi total

yang melewati satuan luas permukaan A meter persegi secara tegak lurus adalah Φ weber maka :

$$B = \Phi/A \ (Wb/m^2)$$

$$= \mu_0 \ \mu_r H \ (Wb/m^2)$$

e) Intensitas magnet

Intensitas magnet (J atau I) dinyatakan sebagai kuat kutub magnet induksi yang dibangkitkan per satuan luas dari bahan magnet. Intensitas magnet dapat juga dinyatakan sebagai besarnya momen magnet yang diperoleh persatuan volume dari bahan magnet. Apabila m adalah kuat kutub magnet dari bahan (dalam satuan weber) dan A adalah luas permukaan kutub dari bahan (dalam satuan meter persegi), maka :I = m/A (weber/m^2)

Dengan demikian intensitas magnet suatu bahan dapat dinyatakan sebagai jumlah kerapatan fluksi yang dihasilkan dari padanya karena induksi magnetnya sendiri.Apabila I adalah panjang batang magnet, maka hasil kali l x m adalah momen magnet (M).

f) Suseptibilitas

Suseptibilitas (k) dinyatakan sebagai perbandingan antara intensitas magnet (I) terhadap intensitas medan magnet (H). Secara matematis, Suseptibilitas dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

K = I/H (henry/meter)

1.4 Satuan Besaran Dasar Magnet

Tabel di bawah ini memperlihatkan satuan besaran dasar magnet;

Besaran Dasar Magnet	**Sistem SI**	**Sistim cgs**	**Sisitim British**
Fluksi magnet (Φ)	1 weber	10^8 maxell	10^8 garis-garis fluksi
Kerapatan Fluksi (B)	1 tesla atau 1(weber/m^2)	10^4 gaus atau (garis-garis/cm^2)	64,52x10^3 garis-

Besaran Dasar Magnet	Sistem SI	Sistim cgs	Sisitim British
			garis (inchi) $^{-2}$
Magnetomotif force (mmf) atau Fm	1 Ampere-turn	(4π/10)=1,252 gilbert	1 ampere-turn
Intensitas Medan Magnet (H)	1[(ampere-turn)/m]	(1,257x10 $^{-2}$ gibert) cm atau oersted	1,54x10 $^{-2}$ ampere-turn inchi

Contoh 2.1

Dua buah kutub magnet utara masing-masing 0,005 weber dan 0,001 weber ditempatkan pada jarak 5 cm dalam udara.

Hitunglah gaya tolak menolak antara kedua katub magnet tersebut.

Jawab

m_1 = 0,005 Wb

m_2 = 0,001 Wb

d = 5 cm

= 0,005 m

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\ \mu_0\ \mu_r\ d^2}\ (\text{newton})$$

$$= \frac{0{,}005 \times 0{,}01}{4\pi \times 4\pi\ \times 10^{-7}\ \times 1 \times (0{,}05)^2}$$

$$= 1256\ (\text{newton})$$

μ_r = 1

Contoh 2.2

Inti besi suatu solenoid mempunyai luas penampang 2 cm^2 dan kerapatan fluksi pada inti besi dimaksud adalah 0,8 tesla. Tentukan total fluksi solenoid tersebut.

Jawab

Φ = BA

= 0,8 x 2 x 10^{-4} weber

= 1,6 x 10^{-4} weber

= 0,16 mili weber

Contoh 2.3

Fluksi magnet 0,06 weber mengalir melewati cela udara suatu motor listrik. Hitunglah penampang celah udara dimaksud apabila kerapatan fluksi magnet adalah 1 tesla.

Jawab

A= Φ/B

= 0,06/1 m^2

= 0,06 m^2

= 600 cm^2

Contoh 2.4

Berapa harga kerapatan fluksi pada cela udara sebuah meter kumparan putar, jika penampang permukaan sepatu kutub adalah 1,5 cm^2 dan fluksi total kutub magnet adalah 0,18 miliweber.

Jawab

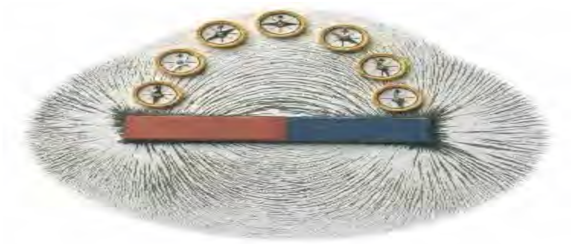
B = Φ/A

= 0,18 x 10^{-3}/1,5 x 10^{-4}

= 1,2 tesla

1.5 Garis-garis gaya dan garis-garis induksi magnit

Garis-garis gaya magnit, keluar dari kutub utara menuju kutub selatan. Pada bagian dalam batang magnit, garis-garis gaya magnet tersebut bergerak dari kutub selatan ke kutub utara.



Gambar 2-1.2 Reprentasi garis-garis gaya dan garis-garis induksi magnet pada suatu batang magnet

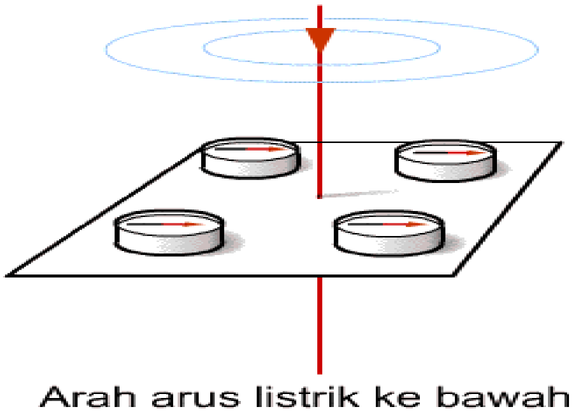
Garis-garis gaya magnet adalah berkas garis yang terletak dibagian luar batang magnet sedangkan garis-garis fluksi magnet adalah berkas garis yang terletak pada bagian dalam batang magnet. Garis-garis gaya magnet mempunyai sifat antara lain sebagai berikut :

1). Sebuah garis gaya magnet muncul dari kutub utara dan berakhir pada kutub selatan.
2). Grais-garis gaya magnet tidak berpotongan pada satu titik
3). Garis-garis gaya magnet saling tolak menolak antara satu dan lainnya

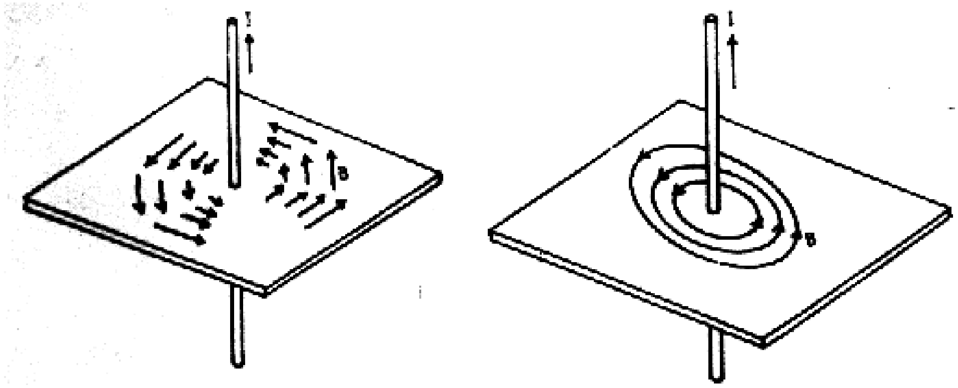
1.6 Arah Medan magnet

Pada tahun 1819 seorang ahli fisika bernama Hans Christian Oersted mengadakan pengamatan dan menemukan adanya gejala-gejala magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik.

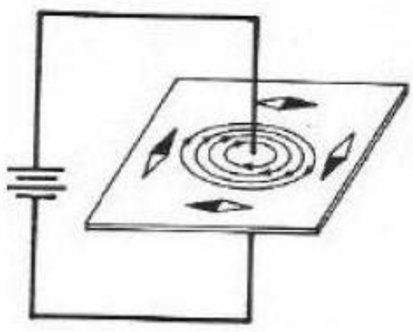
Dari hasil pengamatannya dikatakan bahwa apabila arus listrik mengalir melewati suatu konduktor maka di sekeliling konduktor tersebut ada medan magnet yang memiliki arah tertentu tergantung arah arus listrik dalam konduktor tersebut (lihat gambar-gambar di bawah ini).



Gambar 2-1.3a *Penunjukan jarum kompas di sekeliling konduktor berarus listrik.*



Gambar 2-1.3b Arah medan magnet di sekeliling penghantar bararus listrik

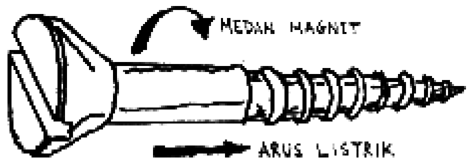


Gambar 2-1.4 Kompas di dekat kawat berarus

Oersted mengamati bahwa ketika sebuah kompas diletakkan dekat kawat berarus, jarum kompas tersebut menyimpang atau bergerak, segera setelah arus mengalir melalui kawat tersebut. Ketika arah arus tersebut dibalik, jarum kompas tersebut bergerak dengan arah sebaliknya. Jika tidak ada arus listrik mengalir melalui kawat tersebut, jarum kompas tersebut tetap diam. Karena sebuah jarum kompas hanya disimpangkan oleh suatu medan magnet, Oersted menyimpulkan bahwa suatu arus listrik menghasilkan suatu medan magnet.
Lihatlah Gambar 2-1.4. Ketika kompas-kompas kecil tersebut diletakkan di sekitar penghantar lurus yang tidak dialiri arus listrik, jarum-jarum kompas tersebut sejajar (semuanya menunjuk ke satu arah). Keadaan ini memperlihatkan bahwa jarum kompas tersebut hanya dipengaruhi oleh medan magnet Bumi. Dengan demikian suatu arus listrik yang mengalir melalui sebuah kawat menimbulkan medan magnet yang arahnya bergantung pada arah arus listrik tersebut. Garis gaya magnet yang dihasilkan oleh arus dalam sebuah kawat lurus berbentuk lingkaran dengan kawat berada di pusat lingkaran.

1). Arah putar sekrup

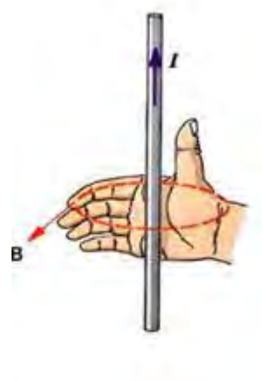
Arah putaran sekrup dibayangkan merupakan arah medan magnet, sedangkan arah maju atau arah mundur sekrup dibayangkan merupakan arah arus listrik.



Gambar 2-1.5 Menentukan arah medan magnet dengan metode arah putar sekrup

2). Kaidah tangan kanan

Konduktor berarus listrik digenggam tangan kanan sedemikian rupa sehingga ibu jari tegak lurus terhadap keempat jari lainnya seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2-1.6 Menentukan arah medan magnet dengan metoda tangan kanan

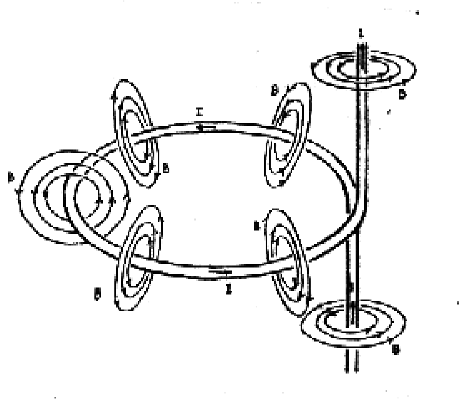
Arah ibu jari dalam gambar dibayangkan merupakan arah arus lsitrik pada konduktor sedangkan keempat jari lainnya merupakan arah medan magnet.Untuk mempermudah penggambaran konduktor berarus listrik, biasanya konduktor-konduktor dimaksud hanya digambar penampangnya saja kemudian diberi tanda dengan x atau • (lihat gambar berikut ini).



Gambar 2-1.7 Tanda X dan tanda dot

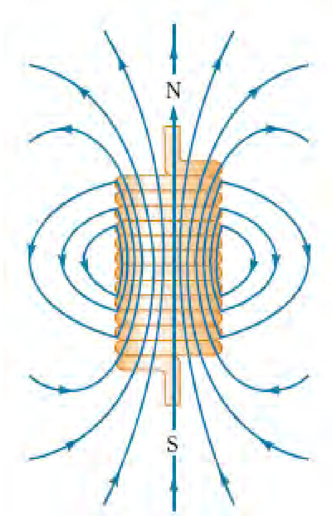
Tanda X (tanda *Cross*) berarti arah arus lsitrik yang mengalir pada konduktor meninggalkan pengamat. Sedangkan tanda • (tanda *dot*)

berarti arah arus listrik pada konduktor menuju pengamat.Arah medan magnet sebuah belitan berbentuk lingkaran dapat ditentukan dengan menggunakan kedua cara tersebut di atas yaitu kaidah arah putar sekrup dan kaidah tangan kanan, hasilnya diperlihatkan seperti gambar berikut ini.



Gambar 2-1.8 Arah medan magnet pada belitan berbentuk bundar

Perlu diingat bahwa garis-garis gaya magnet di sekeliling penghantar belitan, berpusat pada titik tengah penghantar dan tegak lurus terhadap penghantar tersebut. Apabila jumlah rangkaian belitan berbentuk bundar ini banyak sehingga panjang susunannya melebihi panjang diameter satu belitannya maka susunan belitan bundar dimaksud disebut solenoid.Dapat dikatakan juga jika ada kumparan berarus maka disebut solenoid.



Gambar 2-1.9 Arah garis-garis gaya magnet pada solenoid berarus listrik

Arah arus listrik pada solenoid diperlihatkan seperti gambar (1.8) di atas. Dengan adanya arus listrik ini mengakibatkan adanya kutub-kutub magnet utara dan selatan pada ujung-ujung solenoid. Kutub-kutub magnet dimaksud dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

1). Menggunakan Jarum Kompas

Apabila salah satu kutup jarum kompas, katakanlah kutub utara didekatkan pada salah satu kutub solenoid berarus llistrik maka kutub solenoid dimaksud dapat diketahui dengan melihat reaksi yang ditunjukan jarum kompas. Apabila jarum kompas bergeser dari kedudukan semula maka kutub solenoid yang dites itu adalah kutub utara tetapi jika jarum kompas tidak menyimpang berarti kutub solenoid yang dites itu adalah kutub selatan

2). Menggunakan Hukum Helix



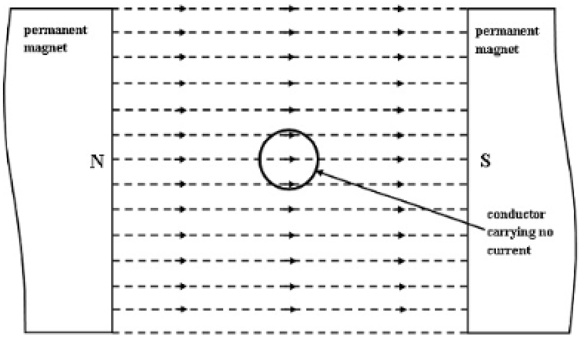
Gambar 2-1.10 Menentukan kutub Solenoid dengan metode tangan kanan

Dalam gambar terlihat bahwa tangan kanan diletakkan sedemikian rupa sehingga keempat jari yang lainnya menandakan arah garis-garis gaya magnet. Ingat bahwa garis-garis gaya magnet keluar dari kutub utara dan

masuk pada kutub selatan. Dengan demikian dapatlah ditentukan jenis-jenis kutub solenoid tersebut.

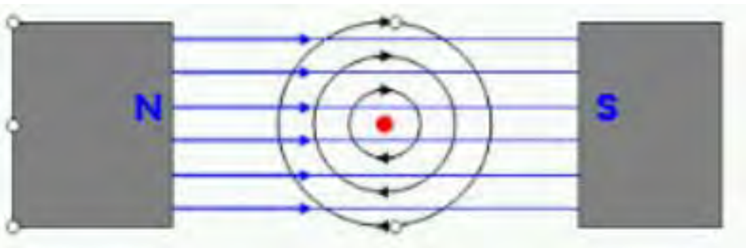
1.7 Gaya Mekanik yang ditimbulkan pada Konduktor Berarus Listrik

Apabila konduktor berarus listrik ditempatkan dalam suatu medan maknet maka konduktor tersebut akan dikenai gaya mekanik.Gambar 2-1.11a di bawah ini memperlihatkan suatu medan magnet homogen yang terletak di atara dua buah kutub magnet utara dan selatan.



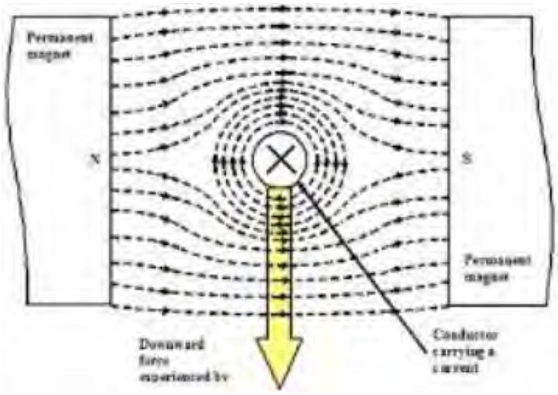
Gambar 2-1.11a. Konduktor tidak berarus listrik dalam medan magnet.

Gambar 2-1.11b memperlihatkan sebuah konduktor berarus listrik dengan luas penampang tertentu. Arah arus listrik pada konduktor menembus bidang gambar (menjauhi pengamat). Dengan demikian arah medan magnet di sekeliling konduktor tersebut akan searah dengan arah perputaran jarum jam.



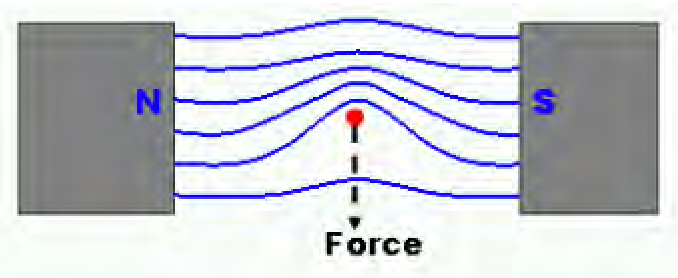
Gambar 2-1.11b Arah medan magnet pada konduktor berarus listrik yang Ditempatkan dalam suatu medan magnet lain

Apabila Konduktor berarus listrik tersebut dalam gambar 2-1.11b ditempatkan dalam medan magnet homogen gambar 2-1.11a maka resultan medan magnet yang dihasilkan diperlihatkan dalam gambar 2-1.11c di bawah ini.



Gambar 2-1.11c Arah gaya mekanik pada konduktor berarus listrik dalam medan magnet, jika arah arus menjauhi pengamat

Garis-garis magnet pada bagian di atas konduktor terlihat lebih rapat dari semula, sedangkan di bagian bawah konduktor terlihat lebih renggang. Hal ini disebabkan pada bagian atas konduktor, garis-garis gaya magnet konduktor dan garis-garis gaya magnet kutub, mempunyai arah yang sama sehingga keduanya saling memperkuat. Lain halnya dengan garis-garis gaya magnet konduktor dan garis-garis gaya magnet kutub di bagian bawah yang mempunyai arah berlawanan sehingga jelas keduanya saling melemahkan. Garis-garis gaya magnet mempunyai sifat analog dengan karet, dimana ada kecenderungan dari padanya untuk menekan. Dengan demikian konduktor dalam gambar 2-1.11c akan dikenai suatu gaya mekanik yang arahnya ke bawah. Apabila arah arus listrik pada konduktor dibalik seperti terlihat dalam gambar 2-1.11d di bawah ini maka arah gaya yang dikenai pada konduktor tersebut akan terbalik juga.



Gambar 2-1.11d Arah gaya mekanik pada konduktor berarus listrik dalam medan magnet, jika arah arus menuju pengamat.

Berdasarkan uraian-uraian di atas, jelas bahwa suatu konduktor berarus listrik ditempatkan secara tegak lurus dalam medan magnet homogen, maka pada konduktor tersebut akan dibangkitkan suatu gaya dengan arah tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh arah arus listrik dan arah medan magnet dimaksud.Gaya mekanik yang dikenai pada konduktor berarus listrik ini akan sebanding dengan kerapatan fluksi (B), arus pada konduktor (I) dan panjang konduktor (i). Dengan demikian secara matematis gaya mekanik dimaksud dapat dituliskan sebagai berikut :

$F = B\ I\ i$ (newton)

Dimana B dinyatakan dalam satuan (Wb/m^2), I dalam satuan ampere dan l dalam satuan meter.Secara umum, jika konduktor berarus liitrik ditempatkan dalam medan magnet dengan sudut θ derajat terhadap kerapatan fluksi B tesla maka gaya mekanik yang ditimbulkan pada konduktor berarus dimaksud dapat dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut :

$F = BI\ l \sin\theta$ newton

Arah gaya dimaksud dapat ditentukan dengan menggunakan hukum tangan kiri Fleming sebagai berikut :

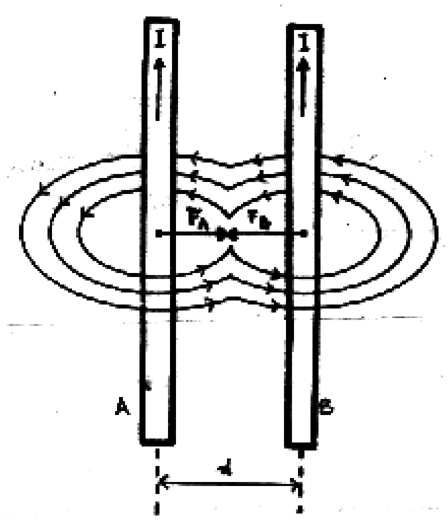


Gambar 2-1.12 Menentukan arah gaya mekanik pada konduktor berarus listrik dalam medan magnet, menggunakan metoda tangan kiri.

Ibu jari telunjuk dari jari tengah tangan kiri diatur sedemikian rupa sehingga antaranya saling tegak lurus membentuk sudut 90^0 (lihat gambar

2-1.12 di atas). Dalam kedudukan demikian arah jari telunjuk menandakan arah medan magnet sedangkan arah jari tengah menandakan arah arus listrik pada konduktor dan arah ibu jari menandakan arah gaya mekanik yang dikenai pada konduktor.

Apabila arah arus listrik pada konduktor dibalik maka arah gaya pada konduktor akan berbalik. Demikian pula jika arah medan dibalik maka arah gaya akan berbalik juga. Gaya mekanik dapat timbul diantara dua buah penghantar lurus, paralel, berarus listrik. Misalkan arah arus pada kedua penghantar dimaksud sama (lihat gambar 2-1.13 berikut ini).



Gambar 2-1.13 Gaya mekanik pada konduktor paralel berarus listrik

Gambar 2-1.13 di atas memperlihatkan dua buah konduktor paralel A dan B, masing-masing mengalirkan arus listrik I_1 dan I_2 ampere, dimana arah-arah tersebut sama.

Resultan intensitas medan magnet pada daerah antara kedua penghantar tersebut, harganya lebih kecil dari intensitas medan magnet yang dibangkitkan salah satu penghantarnya.

Hal ini disebabkan oleh arah medan magnet yang dibangkitkan kedua penghantar pada daerah antaranya mempunyai arah yang berlawanan, sehingga kedua penghantar akan saling tarik menarik.

Apabila arah arus listrik pada kedua penghantar paralel berlawanan arah, maka resultan intensitas medan magnet pada daerah antara kedua penghantar mempunyai harga lebih besar dari intensitas medan magnet yang dibangkitkan salah satunya. Hal ini disebabkan arah medan magnet yang dibangkitkan kedua penghantar tersebut pada daerah antaranya, mempunyai arah yang sama, sehingga kedua penghantar akan saling tolak menolak.

Setiap konduktor (penghantar) dari dua buah konduktor paralel, selalu diliputi oleh garis-garis gaya magnet yang ditimbulkan salah satunya.
Sebagai contoh konduktor A dalam gambar (1.12) di atas diliputi oleh garis-garis gaya magnet (medan magnet) yang ditimbulkan oleh konduktor B. Demikian pula konduktor B akan diliputi oleh medan magnet yang ditimbulkan konduktor A.
Apabila jarak antara dua buah konduktor paralel adalah d meter maka kerapatan fluksi (B) pada konduktor B yang dibangkitkan konduktor A

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r I_1}{2\pi d} \text{ (Wb/m}^2\text{)}$$

adalah sebagai berikut :

Apabila 1 adalah panjang konduktor B yang diliputi garis-garis gaya magnet dari konduktor A maka gaya mekanik yang ditimbulkan pada konduktor B adalah sebagai berikut :

$F = B\, I_2\, l$ (newton)

$$= \frac{\mu_0 \mu_r I_2 I_1 1}{2\pi d} \text{ (newton)}$$

Demikian pula pada konduktor A akan dibangkitkan suatu gaya mekanik yang sama besarnya dengan gaya mekanik pada konduktor B di atas tetapi mempunyai arah berlawanan.

Contoh 2.5 :

Tiga buah rel tembaga A, B dan C memiliki ukuran yang sama, tebal 5 mm, lebar 25 mm dan panjang 80 cm, ditempatkan dalam suatu panel hubung bagi pada jarak antaranya sejauh 5 cm. Ketiga rel ini masing-masing diikat dengan baut pada ujung-ujungnya. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat:

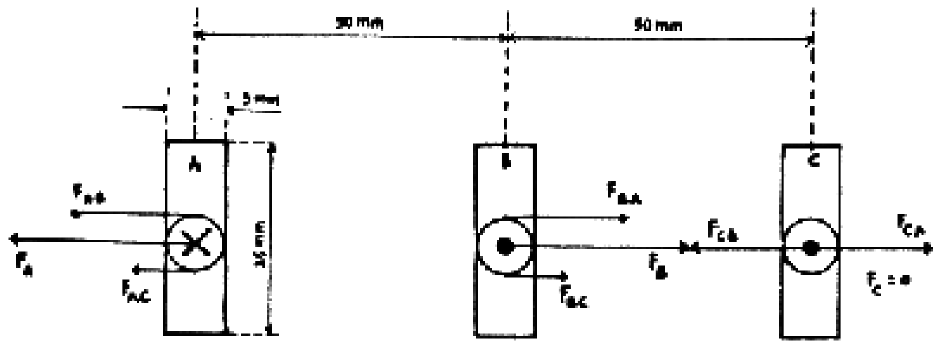
1). Pada rel A, mengalir arus hubung singkat sebesar 40.000 A, dengan arah menjauhi pengamat.

2). Para rel B, mengalir arus hubung singkat sebesar 20.000 A, dengan arah menuju pengama

3). Pada rel C, mengalir arus hubung singkat sebesar 20.000 A, dengan arah menuju pengamat.

Hitunglah total gaya pada masing-masing Rel tersebut.

Jawab :



FAB = gaya pada rel A karena pengaruh medan magnet yang ditimbulkan rel B

FAC = gaya pada rel A karena pengaruh medan magnet yang ditimbulkan rel C

FA = gaya total yang dialami Rel A dan merupakan penjumlahan vektoris FAB dan FAC.

FBA = gaya pada rel B karena pengaruh medan magnet yang ditimbulkan Rel A.

FBC = gaya pada rel B karena pengaruh medan magnet yang ditimbulkan Rel C.

FB = gaya total yang dialami Rel B dan merupakan penjumlahan vektoris FBA dan FBC

FCA = gaya pada rel C karena pengaruh medan magnet yang ditimbulkan Rel A.

FCB = gaya pada rel C karena pengaruh medan magnet yang ditimbulkan Rel B.

FC = gaya total yang dialami Rel C dan merupakan penjumlahan vektoris FCA dan FCB

$$FAB = \frac{\mu_0 \ \mu_r \ I_1 \ I_2 \ 1}{2\mu d}$$

$$FAB = \frac{4\pi \text{ x } 10^{-7} \text{ x } 1 \text{ x } 40.000 \text{ x } 20.000 \text{ x } 0{,}8}{2 \ \pi \text{ x } 0{,}05} \text{ (newton)}$$

= 2560 (newton)

$$FBA = \frac{4\pi \text{ x } 10^{-7} \text{ x } 1 \text{ x } 40.000 \text{ x } 20.000 \text{ x } 0{,}8}{2 \ \pi \text{ x } 0{,}05} \text{ (newton)}$$

= 2560 (newton)

FBA = FAB tetapi arahnya terbalik

$$FAC = \frac{\mu_0 \ \mu_r \ I_1 I_2 \ 1}{2\pi.d}$$

$$FAC = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 40.000 \ \times 20.000 \times 0,8}{2 \ \pi \ x(\ 0,05 + 0,05)} \text{(newton)}$$

= 1280

$$FBC = \frac{\mu_0 \ \mu_r \ I_1 I_2 \ 1}{2\pi.d}$$

$$FBC = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 20.000 \ \times 20.000 \times 0,8}{(2 \ \pi \ x(\ 0,05)} \text{(newton)}$$

= 1280

FCA = FAC tetapi arahnya terbalik; FCB = FBC tetapi arahnya terbalik

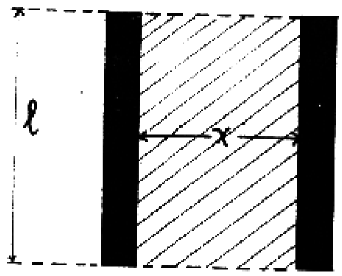
FA = FAB + FAC
= 2560 + 1280
= 3840 (newton)
FB = FBA + FBC
= 2560 + 1280
= 3840 (newton)
FC = FCA + FCB
= 1280 - 1280
= 0

Rel C tidak mengalami gaya mekanik selama harga arus hubung singkat seperti tersebut dalam soal.

1.8 Kerja untuk menggerakkan konduktor berarus listrik

Gambar berikut ini memperlihatkan konduktor sepanjang 1 meter, mengalirkan arus listrik I ampere dengan arah ke bawah. Konduktor dimaksud terletak tegak lurus terhadap medan magnet homogen yang mempunyai kerapatan fluksi B tesla.

Dengan demikian gaya mekanik pada konduktor dimaksud adalah F = B i I newton.



Gambar 2-1.14 Kerja untuk memindahkan Konduktor berarus listrik sejauh x meter

Apabila konduktor dalam gambar di atas digerakkan dalam arah menentang gaya F sejauh x meter maka kerja yang dilakukan untuk menggerakkan konduktor tersebut adalah sebagai berikut :

Kerja = gaya x jarak

= (F x) joule

= BI *l* x joule

Faktor *lx* = A ,merupakan luas permukaan yang dibentuk oleh lintasan dimaksud dinotasikan dengan simbol A maka persamaan kerja adalah sebagai berikut :

Kerja = BIA joule

= (BA) I joule

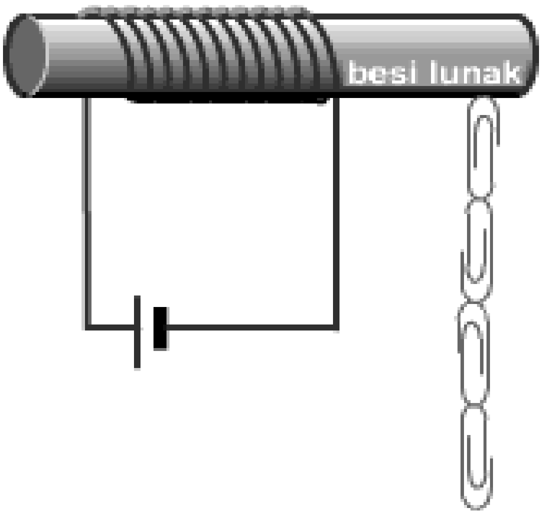
= Φ I joule

Dengan demikian jelas bahwa kerja yang diperlukan untuk menggerakkan konduktor berarus listrik dalam suatu medan magnet homogen, sama dengan

hasil kali fluksi magnet yang dipotong oleh konduktor dan besarnya arus listrik dalam konduktor tersebut.

2. Elektromagnetik

Penahkah kalian melakukan percobaan dengan melakukan seperti gambar di bawah ini?



Gambar 2-2.1 Lilitan yang dialiri arus listrik sehingga inti besi menjadi medan magnet

Jika diamati satu batang inti besi lunak kemudian dimasukkan ke dalam suatu kumparan atau lilitan yang dialiri arus listrik, yang terjadi adalah inti besi tersebut menjadi magnet karena dapat menarik benda-benda yang mengadung besi, fenomena tersebut dinamakan elektromagnet atau magnet listrik

2.1 Kekuatan Tarik Magnet Listrik

Magnet listrik terdiri dari kumparan yang dibentuk dari kawat berisolasi. Sebagai contoh kumparan solenoid berinti bahan magnet dan lain-lain. Umumnya inti kumparan adalah besi lunak, sebab sifat besi lunak cepat sekali menjadi magnet apabila kumparan yang dililitkan padanya dialiri arus listrik. Sebaliknya jika arus listrik diputuskan dari kumparan maka sifat magnet pada besi lunak akan hilang dalam jumlah relatif lebih besar jika dibandingkan dengan bahan-bahan magnet

lainnya. Demikian pula suatu kumparan yang memiliki inti dari bahan besi lunak akan menghasilkan fluksi magnet relatif lebih banyak dibandingkan bahan-bahan magnet lainnya karena permeabilitas besi lunak relatif lebih besar.

Kekuatan tarik magnet listrik bergantung pada harga permeabilitas inti, jumlah lilitan per satuan panjang kumparan dan besarnya arus listrik yang dialirkan melalui kumparan magnetnya. Secara matematis kekuatan tarik magnet listrik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F = \frac{BA}{2\mu_o} \quad \text{(newton)}$$

Dimana : B adalah kerapatan fluksi (Wb/m^2 atau tesla)

A adalah luas penampang inti (m^2)

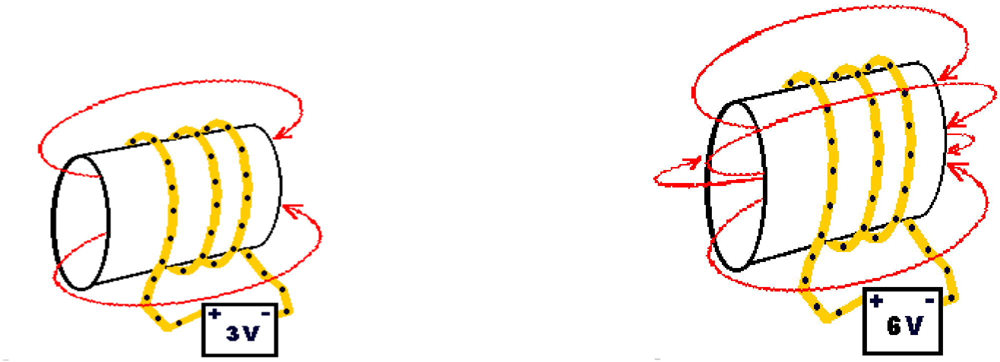
μ_o adalah permeabilitas udara dan harganya sama dengan

4π x 10-7 (Henry/m)

magnet-magnet listrik umumnya digunakan untuk membangkitkan medan magnet pada generator-generator listrik, motor-motor listrik, alat-alat ukur listrik, *lift*, *relay*, kontaktor, *circuit breaker*, pengatur buka tutup katup secara listrik dan pengereman motor.

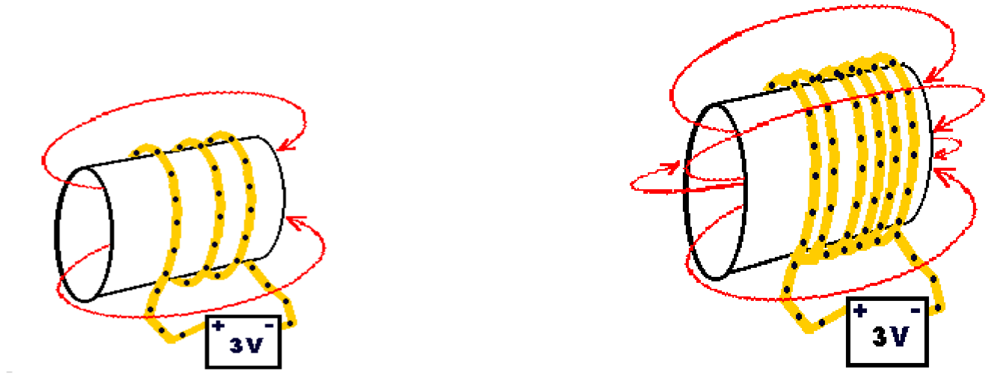
Tugas 2.2 Mengamati fenomena medan magnet

Sebelum mempelajari tentang elektromagnet dan mengenal induksi magnet listrik, kalian diskusikan dengan mengamati gambar di bawah ini:



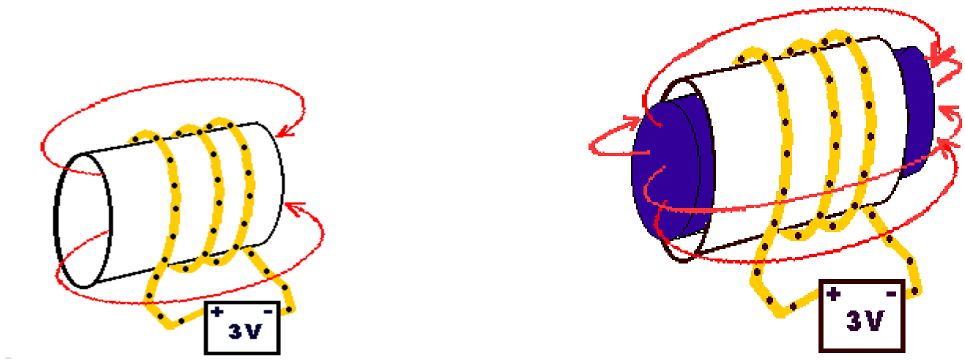
Gambar 2-2.2a kumparan dialiri listrik 3 volt DC dan 6 volt DC

Dari gambar 2-2.2a Bagaimanakah medan magnet yang ditimbulkan dari kedua gambar tersebut? Berikan alasannya pada kumparan yang dialari listrik 3 Volt dibandingkan dengan yang dialiri listrik 6 Volt?



Gambar 2-2.2b kumparan dengan kumparan dengan listrik 3 volt DC

Dari gambar 2-2.2b Bagaimanakah medan magnet yang ditimbulkan dari kedua gambar tersebut? Berikan alasannya pada kumparan yang jumlah lilitan sedikit yang dialiri listrik 3 Volt dibandingkan dengan jumlah lilitan yang banyak?



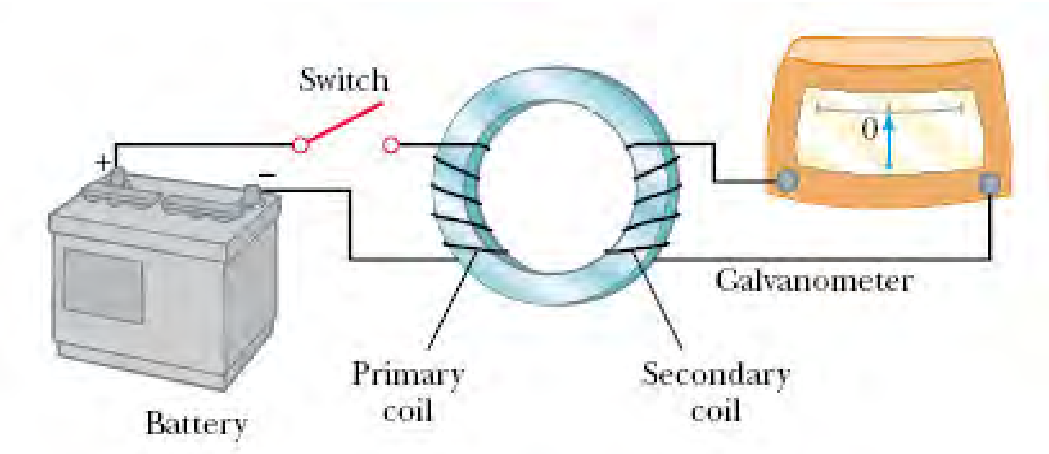
Gambar 2-2.2c kumparan dialiri listrik 3 volt DC dengan inti besi yang berbeda diameternya.

Dari gambar 2-2.2c. Bagaimanakah medan magnet yang ditimbulkan dari kedua gambar tersebut? Berikan alasannya pada kumparan yang dialiri listrik 3 Volt dengan bahan inti besi yang kecil dibandingkan dengan bahan inti besi yang besar?

Jika kalian sudah mendapatkan jawabannya,maka berikan kesimpulannya.

2.2 Hukum Faraday Mengenai Induksi Magnet Listrik

Gaya gerak listrik dapat dibangkitkan dengan cara proses kimia, proses pemanasan dan proses magnet. Telah dijelaskan bahwa apabila suatu konduktor berarus listrik ditempatkan secara tegak lurus dalam medan magnet homogen maka pada konduktor tersebut akan dibangkitkan suatu gaya mekanik yang memiliki arah tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh konduktor dan garis-garis gaya magnet. Hal ini berarti bahwa apabila suatu konduktor digerakan dalam medan magnet maka pada konduktor tersebut akan dibangkitkan gaya gerak listrik (ggl) yang memiliki arah tertentu, tergantung arah gerak konduktor dan arah medan magnet. Untuk jelasnya perhatikan percobaan-percobaan Tuan Farady sebagai berikut :



Gambar 2-2.3 percobaan dengan menggunakan alat ukur galvanometer

a). Percobaan Pertama



Gambar 2-2.4. Batang magnet permanen yang digerakkan

Kedua ujung kumparan dihubungkan dengan galvanometer (G), kemudian batang magnet NS digerakkan menuju kumparan tersebut. Gejala yang timbul pada saat batang magnet NS digerakkan menuju kumparan adalah bahwa jarum galvanometer G menunjuk suatu harga. Hal ini berarti pada kumparan terbangkit gaya gerak listrik. Apabila batang magnet NS ini tidak digerakkan maka jarum galvanometer tidak menunjuk suatu harga tetapi bergerak menuju angkat nol. Hal ini berarti bahwa pada kumparan tidak terbangkit gaya gerak listrik.

Selanjutnya jika batang magnit NS digerakkan lagi dalam arah yang berlawanan dari arah semula, maka jarum galvanometer (G) akan menyimpang lagi tetapi dalam arah yang berlawanan dari arah simpangan semula. Pada saat batang magnit NS digerakkan menuju kumparan, maka fluksi magnet yang melingkupi kumparan lebih banyak, sehingga pada kumparan timbul gaya gerak listrik tetapi mempunyai arah berlawanan dengan arah sebelumnya. Pada saat batang magnet dihentikan dari gerakkannya, maka fluksi magnet masih melingkupi kumparan tetapi fluksi dimaksud tidak berubah-ubah, sehingga pada kumparan tidak terbangkit gaya gerak listrik (ggl). Ggl ini juga dapat timbul dengan cara menggerakkan

kumparan menjauhi atau mendekati batang magnet NS yang ditempatkan pada posisi tetap (diam).

b). Percobaan Kedua.



Gambar 2-2.5 Kumparan berarus listrik digerakkan

Magnet batang NS pada percobaan pertama diganti dengan sebuah solenoid bersumber tegangan (u). Setelah melakukan urutan percobaan seperti percobaan pertama di atas ternyata diperoleh hasil bahwa pada kumparan timbul gaya gerak listrik dan ini ditunjukkan oleh adanya simpangan jarum galvanometer (G).

c). Percobaan ketiga



Gambar 2-2.6 Rangkaian percobaan adanya induksi magnet listrik

Tuan Faraday menemukan adanya gejala penyimpangan jarum dan ternyata jarum galvanometer kembali menyimpang. Berdasarkan gejala-gelaja tersebut, Tuan Faraday menyimpulkan bahwa :

1) Apabila fluksi magnet yang nilainya berubah-ubah melingkupi suatu rangkaian atau kumparan maka pada rangkaian atau kumparan tersebut akan dibangkitkan gaya gerak listrtik.
2) Apabila fluksi magnet dipotong oleh konduktor yang bergerak maka pada konduktor tersebut akan dibangkitkan gaya gerak listrik.
3) Besarnya gaya gerak listrik yang diinduksikan pada suatu kumparan, berbanding langsung dengan hasil kali banyaknya lilitan kumparan, dan perubahan fluksi magnet yang melingkupi kumparan tersebut adalah sebagai berikut :

$$e = n \frac{d\phi}{dt}$$

Dimana : e = gaya gerak listrik induksi pada kumparan

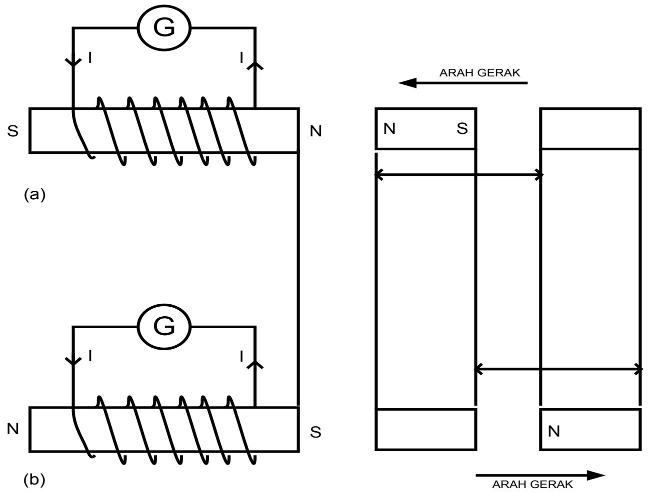
n = banyaknya lilitan kumparan

3. Hukum Lens

Lens mengamati adanya gejala pengkutuban kumparan solenoid karena adanya pengaruh arah gerak batang magnet menuju atau menjauhi kumparan solenoid dimaksud. Apabila batang magnet digerakan menuju solenoid maka pada solenoid akan mengalirkan arus dalam arah tertentu seperti dalam gambar 2-3.1 sehingga ujung kumparan yang berdekatan dengan batang magnet memiliki polaritas kutub yang sama yaitu kutub utara (N).

Selanjutnya jika batang magnet digerakkan menjauhi solenoid maka pada solenoid akan dibangkitkan juga suatu gaya gerak listrik yang mengalirkan arus dalam arah tertentu seperti dalam gambar 2.4.b, sehingga ujung kumparan yang berhadapan dengan batang magnet memiliki polaritas kutub yang berlainan (untuk kumparan berkutub S dan untuk batang magnit berkutub N).

Berdasarkan gejala-gejala tersebut, Tuan Lens menyimpulkan bahwa “arah gaya gerak listrik induksi adalah sedemikian rupa sehingga arus listrik yang dibangkitkannya, menimbulkan suatu medan magnet lain yang mempunyai arah berlawanan dengan arah medan magnet asal”.



Gambar 2-3.1 Perubahan kutub kumparan karena adanya pengaruh gerakan magnet permanen

Apabila fluksi magnet yang melingkupi kumparan (n) buah lilitan mempunyai harga berubah-ubah sebesar dΦ, selama selang waktu dt, maka gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada kumparan dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

I = jumlah lilitan kumparan x perubahan fluksi yang melingkupi kumparan tersebut :

$$= \frac{d\phi}{dt} \; n$$

Berdasarkan kesimpulan Tuan Lens maka persamaan gaya gerak listrik dimaksud harus dibubuhi tanda minus.

$$\text{Jadi } c = -n \frac{d\phi}{dt} \text{ volt}$$

Contoh 2.6

Sebuah kumparan solenoid 200 lilitan dilingkupi fluksi magnet 8 miliweber. Hitunglah gaya gerak listrik induksi pada kumparan apabila fluksi magnet dibalik dalam 0,02 detik.

Jawab :

Jumlah lilitan kumparan (n) = 200 buah

Perubahan fluksi magnet dalam selang waktu 0,02 detik adalah :

$$
\begin{aligned}
d\phi &= 8 - (-8) \text{ mili weber} \\
&= 16 \text{ mili weber} \\
&= 0{,}016 \text{ weber}
\end{aligned}
$$

perubahan fluksi per satuan waktu adalah :

$$
\begin{aligned}
\frac{d\phi}{dt} &= \frac{0{,}016}{0{,}02} \\
&= 0{,}8 \text{ weber/detik}
\end{aligned}
$$

jadi gaya gerak listrik induksi pada kumparan adalah :

$$
\begin{aligned}
c &= \frac{d\phi}{dt}\, n \\
&= 200 \times 0{,}8 \\
&= 160 \text{ volt}
\end{aligned}
$$

Contoh 2.7

Sebuah kumparan solenoid 100 buah lilitan, 50 ohm, dihubungkan seri dengan sebuah galvanometer 100 ohm. Hitunglah gaya gerak listrik dan arus listrik yang dibangkitkan pada kumparan apabila kumparan tersebut digerakkan dari suatu medan magnet 1 mili weber ke medan magnet lain 0,2 mili weber, dalam selang waktu 0,1 detik.

Jawab :

Jumlah lilitan kumparan (n) = 100 buah

Perubahan fluksi dalam selang waktu 0,1 detik adalah :

$$
\begin{aligned}
d\phi &= (0{,}001 - 0{,}002) \text{ weber} \\
&= 0{,}0008 \text{ weber}
\end{aligned}
$$

perubahan fluksi per satuan waktu adalah :

$$
\begin{aligned}
\frac{d\phi}{dt} &= \frac{0{,}008}{0{,}1} \text{ (Wb/detik)} \\
&= 0{,}008 \text{ (Wb/detik)}
\end{aligned}
$$

gaya gerak listrik induksi pada kumparan adalah :

Resistansi rangkaian (R) = Resistansi Kumparan + Resistansi Galvanometer :

= (50 + 100) Ohm

= 150 Ohm

Arus listrik pada kumparan $(\mathrm{I}) = \dfrac{c}{\mathrm{R}}$ (ampere)

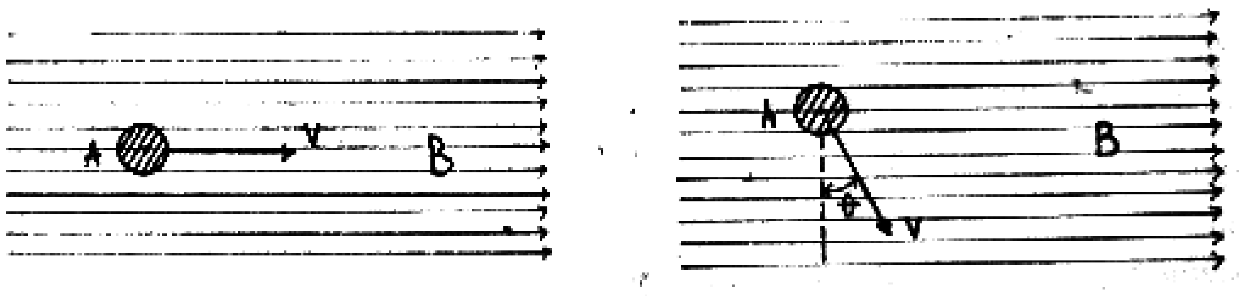
$$= \frac{0{,}8}{150} \text{ ampere}$$

$$= 0{,}0053 \text{ ampere}$$

4. **Gaya Gerak Listrik Induksi Dinamik**

Gaya gerak listrik induksi dinamik pada konduktor diperoleh dengan cara menggerakkan konduktor dalam medan magnet yang tetap.

Gambar (2.5)a berikut ini memperlihatkan suatu konduktor tetap dengan panjang l meter ditempatkan dalam medan magnet homogen yang mempunyai kerapatan fluksi B tesla.



a b

Gambar 2-4.1a. Arah gerakan konduktor searah medan magnet tetap

Gambar 2-4.1b. Arah gerakan konduktor membentuk sudut dengan medan magnet tetap

Apabila konduktor digerakkan dengan kecepatan V (meter/detik) arah demikian rupa, sehingga memotong garis-garis gaya magnet (lihat gambar 2.5a), maka pada konduktor tersebut tidak terbangkit gaya gerak listrik induksi, karena arah gerakan konduktor sejajar dengan arah medan magnet sehingga konduktor tersebut tidak memotong garis-garis gaya magnet.

Apabila konduktor digerakkan dengan kecepatan V (meter/detik) dalam arah demikian rupa, sehingga memotong garis-garis gaya magnet (lihat gambar 2.5b), maka pada konduktor tersebut akan dibangkitkan gaya gerak listrik induksi. Misalkan penampang konduktor adalah Am^2, panjangnya I meter, bergerak dengan kecepatan V (meter/detik) sejauh (dx) meter dalam selang waktu dt.detik. luas bidang yang dibentuk lintasan konduktor per detik adalah I dx (m^2/detik) atau 1.v. sin θ (m^2/detik). Fluksi magnet yang dipotong konduktor per detik sama dengan kerapatan fluksi (B) kali luas bidang yang dibentuk lintasan konduktor per detik.

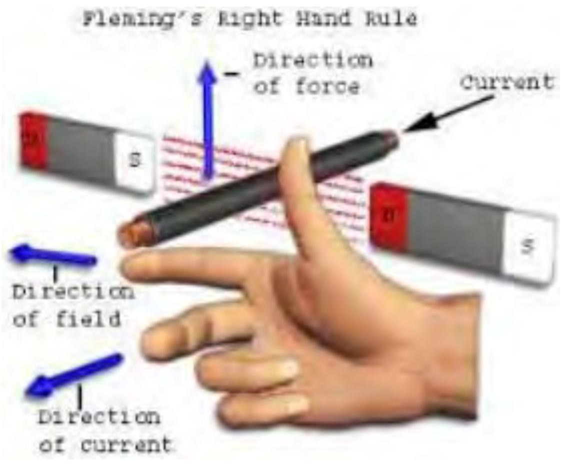
$d\phi$ = B 1 v sin (weber)

$$\frac{d\phi}{dt} = B\,1\,v\sin\,(\text{weber/detik})$$

$$e = \frac{d\phi}{dt}(\text{Volt})$$

$$= n\ B\,1\,v\sin\,(\text{volt})$$

Arah gaya gerak listrik induksi ini ditentukan berdasarkan kaidah tangan kanan Fleming seperti ditunjukkan dalam gambar (2-4.2) di bawah ini.



Gambar 2-4.2 Menentukan arah gaya gerak listrik induksi dengan kaidah tangan kanan.

Ibu jari berada pada posisi tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh jari telunjuk dan jari tengah.

Dalam hal ini jari telunjuk dan jari tengah juga berada dalam posisi saling tegak lurus, dengan kaidah tangan kanan ini, jari telunjuk menyatakan arah medan magnet, jari jempol menyatakan arah gerakan konduktor, sedangkan jari tengah menyatakan arah gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada konduktor.

Contoh 2.8

Sebuah konduktor sepanjang 1 meter digerakkan dalam arah tegak lurus medan magnet homogen sebesar 1 tesla, dengan kecepatan 50 meter/detik. Hitunglah gaya gerak listrik yang diinduksikan pada konduktor tersebut.

Jawab :

Kerapan fluksi magnet (B) = 1,5 tesla

Panjang konduktor (I) = 1 meter

Kecepatan gerak konduktor(V) = 50 m/detik

Sudut gerakan konduktor terhadap arah medan magnet (θ) = 90^0 ,

ggl yang diinduksikan (e) = B 1 v sin θ

= 1,5 x I x 50 x 1

= 75 volt

Contoh 2.9.

Sebuah konduktor 15 cm mengalirkan arus listrik 45 A terletak tegak lurus terhadap medan magnet 1500 (AT/m)

Hitunglah :

a) gaya mekanik yang ditimbulkan pada konduktor
b) daya yang diperlukan untuk menggerakan konduktor tersebut dalam arah menentang gaya mekanik yang ditimbulkan pada konduktor apabila kecepatan gerakan konduktor adalah I (m/detik)
c) gaya gerak listrik pada konduktor.

Jawab :

Panjang konduktor (I) = 15 cm = 0,15 m

Arus listrik pada konduktor (I) = 45 ampere

Kuat medan magnet (H) = 1500 (ampere-tum/meter)

Kerapatan fluksi magnet (B) = $\mu_0 H$

= $4\pi \times 10^{-7} \times 1500$

= $1{,}885 \times 10^{-3}$ tesla

Gaya mekanik yang ditimbulkan pada konduktor (F) :

F = B1I

= $1{,}885 \times 10^{-3} \times 45 \times 0{,}15$ (newton)

= $12{,}724 \times 10^{-3}$ newton

daya yang diperlukan untuk menggerakkan konduktor (P)

P = F x v

= $12{,}724 \times 10^{-3} \times 1$ (Joule/detik)

= $12{,}724 \times 10^{-3}$ watt

ggl induksi pada kumparan (e) = B 1 v

= $1{,}885 \times 10^{-3} \times 0{,}15 \times 1$ volt

= 0,283 mili volt

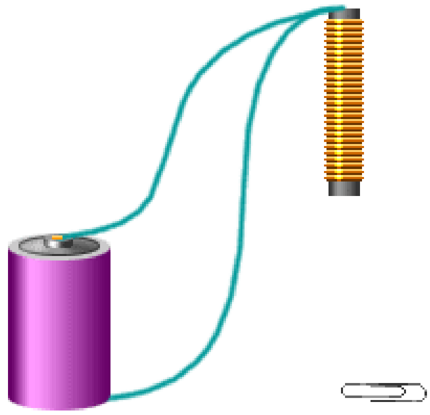
5. **Gaya Gerak Listrik Induksi Statik**

Gaya gerak listrik induksi statik diperoleh dengan cara melingkupkan fluksi magnet yang berubah-ubah pada kumparan yang berada dalam posisi diam.

Gaya gerak listrik induksi statik terbagi dua yaitu gaya gerak listrik induksi sendiri dan gaya gerak listrik induksi bersama.

5.1 **Gaya gerak listrik induksi sendiri**

Apabila arus listrik yang mengalir melewati kumparan mempunyai harga berubah-ubah maka fluksi magnet yang dihasilkan juga mempunyai harga berubah-ubah.



Gambar 2-5.1 Gaya gerak listrik induksi sendiri

Harga fluksi yang berubah-ubah ini akan membangkitkan suatu gaya gerak listrik induksi pada kumparan dan disebut gaya gerak listrik induksi sendiri.Menurut hukum Lens, gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan mempunyai arah sedemikian rupa, sehingga arus listrik yang dibangkitkannya menimbulkan suatu medan magnet lain dalam arah berlawanan dengan arah medan magnet semula. Dengan demikian terlihat bahwa apabila kumparan dialiri arus listrik maka kumparan tersebut cenderung menimbulkan arus lawan. Sebuah solenoid n buah lilitan dengan panjang 1 meter, mempunyai penampang A(m^2) dan permeabilitas inti μ_r. Apabila solenoid tersebut dialiri arus listrik I ampere maka fluksi magnet (θ) yang dibangkitkannya akan melingkupi kumparan itu sendiri. Harga fluksi magnet ini dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\phi = \frac{nI}{I/\mu_o \mu_r A} \text{ (weber)}$$

Apabila arus listrik I yang dialirkan pada kumparan mempunyai harga berubah-ubah maka fluksi magnet yang dihasilkan mempunyai harga berubah-ubah, sehingga pada kumparan terbangkit gaya gerak listrik. ggl yang dibangkitkan ini adalah ggl induksi sendiri dan harganya dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

e = -n x perubahan fluksi magnet yang melingkupi kumparan

$$= -\mathrm{n}\ \mathrm{x}\ \frac{\mathrm{d}\phi}{dt}$$

$$= -\mathrm{n}\ \frac{\mathrm{I}\mu_o\mu_r A}{dt}$$

$$= \mathrm{n}\ \frac{\mathrm{n}}{\mathrm{I}\mu_o\mu_r A}\ \mathrm{x}\ \frac{\mathrm{di}}{\mathrm{dt}}$$

$$\mathrm{e} = -\frac{\mathrm{n}^2\mu_o\mu_r A}{1}\ \mathrm{x}\ \frac{\mathrm{di}}{\mathrm{dt}}\ (\mathrm{volt})..........(\mathrm{i})$$

Faktor $(\frac{\mathrm{n}^2\mu_o\mu_r A}{1})$, dari persamaan (i) di atas merupakan 1 konstanta

Yaitu konstanta rangkaian, dan biasanya disebut dengan istilah koefisien induktansi sendiri. Simbol koefisien induktansi sendiri ini biasanya dinyatakan dengan huruf (L) dan diukur dalam satuan henry. Jadi persamaan gaya gerak listrik induksi sendiri di atas dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut :

$$\mathrm{e} = \mathrm{L}\ \frac{\mathrm{di}}{dt}\ (\mathrm{volt})$$

Koefisien induktansi sendiri (L) dapat ditentukan dengan beberapa cara berikut ini :

1) apabila dimensi solenoid diketahui maka koefisien induktansi sendiri (L) dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mathrm{L} = -\frac{n^2\mu_o\mu_r}{1}\ (\mathrm{henry})$$

2) Apabila gaya gerak listrik induksi pada kumparan untuk harga arus yang berubah-ubah diketahui maka koefisien induktansi sendiri (L) dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L = -\frac{c}{di/dt} \text{ (henry)}$$

3) Apabila jumlah lilitan kumparan dan fluksi magnet (ϕ) per setiap ampere arus dalam kumparan diketahui maka koefisien induktansi sendiri (L) dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L = -\frac{n\phi}{i} \text{ (henry)}$$

Persamaan ini sebetulnya diperoleh dengan cara seperti penjelasan berikut :

Fluksi magnet yang dihasilkan suatu kumparan n buah lilitan, panjang I meter, penampang inti A m^2, permeabilitas relatif inti μ_r dan arus listrik yang melewati kumparan adalah i ampere, ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut :

$$\phi = \frac{ni}{I\mu_o\mu_r At}$$

$$= \frac{nA\mu_o\mu_r}{I} \text{ x } i$$

$$L = \frac{n^2 A\mu_o\mu_r}{1}$$

$$= \frac{n}{i} \text{ x } \left(\frac{nA\mu_o\mu_r}{1}\right) \text{ x } i$$

$$= \frac{n\phi}{i}$$

Terlihat bahwa koefisien induktansi sendiri dari suatu kumparan sama dengan weber-turn per ampere kumparan tersebut.

Jika n = 1 weber – turn, I = 1 ampere, maka L = 1 henry. Jadi suatu kumparan dikatakan mempunyai koefisien induktansi sendiri sebesar 1 henry jika arus listrik sebesar 1 ampere mengalir padanya dan menghasilkan fluksi magnet sebanyak 1 weber-turn.

Contoh 2.10

Sebuah kumparan toroidal berinti udara, mempunyai jumlah lilitan 1000 buah, berdiameter 50 cm, berpenampang inti 5 cm^2.

Hitunglah :

a) Koefisien induktansi sendiri

b) Gaya gerak listrik induksi pada kumparan jika arus listrik 4A dibalik dalam selang waktu 0,08 detik.

Jawab

Jumlah lilitan (n)	= 1000 buah
Permeabilitas udara (π_r)	= 1
Permeabilitas absolut udara (π_o)	= 4π x 10^{-7}
Penampang inti kumparan (A)	= 5 cm^2
	= 5 x 10^{-4} m^2
Panjang kumparan	= 2μ r
	= πd
	= π x0,5 meter

a) Koefisien induktansi sendiri $(L) = -\frac{n^2\mu_o\mu_r}{1}$

$$= -\frac{(1000)^2 \text{ x } 5 \text{ x } 10^{-4} x\, 4\pi \text{ x } 1_0 - 7 \text{ x } 1}{5 \text{ x } 10^{-1} \text{ x } \pi}$$

$$= \frac{10^{-6} x\, 10^{-11} \text{ x5 x } 4 \text{ x } 1}{5 \text{ x } 10^{-1}}$$

$$= 0{,}4 \text{ mili henry}$$

b) Perubahan arus listrik per satuan waktu adalah :

$$= -\frac{\text{di } 4 - (-4)}{\text{dt } 0{,}08}$$

$$= 100 \text{ (ampere/detik)}$$

Gaya gerak listrik induksi pada kumparan adalah :

$$e = L\frac{di}{dt}$$

$$= 4 \text{ x } 10^{-4} \text{ x } 10^2 \text{ (volt)}$$

$$= 40 \text{ mili volt}$$

Contoh 2.11

Sebuah cincin besi dengan diameter 0,15 meter, berpenampang 10^{-3} m2 mempunyai cela udara 2 mm, dililit dengan 200 buah lilitan. Kerapatan fluksi magnet pada cela udara adalah I tesla, permebilitas besi 500. Hitunglah arus penguatan yang diperlukan dan koefisien induktansi sendiri.

Jawab

Kerapatan fluksi B = 1 tesla

Permeabilitas besi (μ_r) = 500

Panjang cela udara (lg) = 0,002 m

Panjang besi (l_i) = π x 0,25 – 0,002

= 0,469

ampere – turn total yang diperlukan :

AT = $H_g/_g + H_i/_l$

$$= -\frac{B}{\mu_o} l_g + \frac{B}{\mu_o \mu} l_i$$

$$= \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \times \frac{1}{500 \times 4\pi \times 10^{-7}} \; 0{,}002 + 0{,}469$$

$$= 1591 + 746{,}437$$

$$= 2337{,}44$$

$$\text{arus penguatan (1)} = \frac{AT_r}{n1}$$

$$= \frac{2337{,}44}{200}$$

$$= 11{,}6872 \text{ ampere}$$

Fluks ϕ = BA

= 1 x 10^{-3} weber

Koefisien induktansi sendiri :

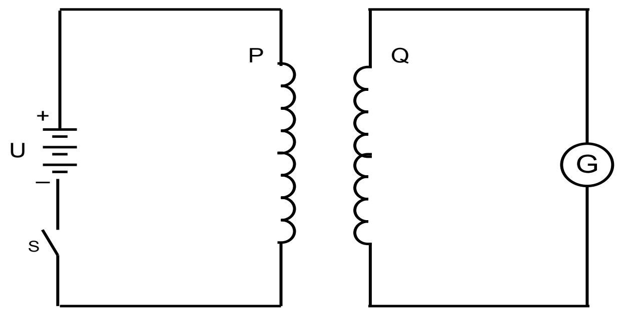
$$(L) = -\frac{n\phi}{i}$$

$$= \frac{200 \times 10^{-3}}{11{,}6782}$$

$$= 0{,}01713 \text{ henry}$$

5.2 Gaya Gerak listrik Induksi Bersama

Gambar 2-5.2 di bawah ini memperlihatkan dua buah kumparan P dan Q ditempatkan sedemikian rupa, sehingga fluksi magnet yang dihasilkan salah satu kumparan, secara lengkap melingkupi kumparan yang lain. Kumparan P dihubungkan dengan sebuah batere U volt dan sebuah saklar S



Gambar 2-5.2 dua buah kumparan yang terpisah

Kumparan Q dihubungkan dengan sebuah galvanometer G, apabila saklar S berada dalam posisi *OFF*, tidak ada arus listrik mengalir dalam rangkaian kumparan P sehingga tidak ada fluksi magnet yang melingkupi kumparan Q, dan akibatnya pada kumparan Q tidak terbangkit gaya gerak listrik induksi (Jarum galvanometer menunjuk posisi nol).

Apabila saklar S berada dalam posisi *ON* maka arus listrik pada kumparan P akan naik dari nol mencapai suatu harga tertentu dan menimbulkan garis-garis gaya magnet yang melingkupi kumparan Q naik dari nol mencapai suatu harga tertentu. Jelasnya kumparan Q dilingkupi oleh fluksi magnet yang berubah-ubah, sehingga pada kumparan Q terbangkit suatu gaya gerak listrik induksi dimana gaya gerak listrik induksi dimaksud dinamakan gaya gerak listrik induksi bersama.

Apabila kenaikan arus listrik pada kumparan P telah mencapai suatu harga tertentu dimana arus tersebut tidak naik lagi maka fluksi magnet yang melingkupi kumparan Q akan konstan. Dengan demikian pada kumparan Q tidak terbangkit gaya gerak listrik induksi sehingga penunjukkan galvanometer G akan turun ke posisi nol. Selanjutnya jika saklar S pada posisi *OFF* maka arus listrik pada rangkaian kumparan P akan turun, sehingga fluksi magnet yang melingkupi kumparan Q akan berkurang dan pada kumparan Q terbangkit lagi gaya gerak listrik induksi, tetapi arahnya berlawanan dengan arah gaya gerak listrik semula.

Gejala tersebut terlihat dari simpangan jarum galvanometer dimana arah simpangannya berlawanan dengan arah simpangan semula.

Apabila kumparan P mempunyai lilitan sebanyak n buah, panjang inti I meter, penampang inti A m^2, permeabilitas ini μ_r arus listrik yang dialirkan i ampere maka fluksi magnet ϕ yang dibangkitkan kumparan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\phi \;=\; -\frac{n_1 i_{1_r}}{1/\mu_o \mu_r A}$$

Misalkan keseluruhan fluksi magnet, yang dibangkitkan kumparan P ini melingkupi kumparan Q dan kumparan Q tersebut mempunyai n_2 buah lilitan maka gaya gerak listrik induksi bersama (e_m) pada kumparan Q dapat dijelaskan seperti uraian berikut ini $e_m = n_2$ x perubahan fluksi magnet pada kumparan P

$$e_m = -n_2\{d[\frac{n_1 i}{l/\mu_0 \mu_r A}]/dt\}$$

$$= (\frac{n_1 n_{1_2} \mu_o \mu_r A}{1}) \times \frac{di}{dt} \;......(ii)$$

$$\text{Faktor}\,(-\frac{n_1 n_2 \mu_o \mu_r A}{1})$$

Dalam persamaan (ii) merupakan koefisien induktansi bersama dan biasanya dinotasikan dengan huruf M, dan dinyatakan dalam satuan henry.

Koefisien induktansi bersama dapat ditentukan dengan beberapa cara sebagai berikut :

1) Apabila dimensi kumparan diketahui maka koefisien induktansi bersama (M) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M = -\frac{n_1 n_2 \mu_o \mu_r A}{l} \text{ (henry)}$$

Dimana : n_1 = jumlah lilitan kumparan primer

N_2 = jumlah kumparan sekunder

A = Penampang inti kumparan primer

μ_o = permeabilitas absolut udara bebas atau ruang hampa

μ_r = permeabilitas relatif inti kumparan primer

l = panjang inti kumparan primer

2) Apabila gaya gerak listrik induksi bersama pada kumparan sekunder untuk suatu nilai perubahan arus tertentu dalam kumparan primer diketahui maka koefisien induktansi bersama (M) dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M = -\frac{e_m}{di/dt} \text{ (henry)}$$

3) Apabila jumlah lilitan sekunder serta banyak fluksi magnet per ampere arus primer yang melingkupi kumparan sekunder diketahui maka koefisiensi bersama dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M = n_2 \frac{\phi_m}{i} \text{ (henry)}$$

Contoh 2.12

Sebuah cincin terbuat dari bahan non magnet mempunyai diameter 30 cm, penampang bahan 4 cm^2. Pada cincin tersebut dililitkan dua buah kumparan (P) dan (Q) saling berhadapan. Kumpran P mempunyai 90 lilitan kumparan Q 240 lilitan.

Hitunglah :

a) Koefisien induktansi bersama antara kedua kumparan tersebut
b) Gaya gerak listrik induksi bersama yang dibangkitkan pada kumparan Q, jika arus sebesar 6 ampere dibalik dalam selang waktu 0,02 detik.

Jawab :

a). Panjang bahan cincin (l) :

l = πd

= 0,3π meter

Koefisien induktansi bersama (M) antara kedua kumparan tersebut :

$$M = \left(- \frac{n_{p1} n \mu_{Qo} \mu_r A}{1} \right)$$

$$= \frac{90 \text{ x } 240 \text{ x } 1 \text{ x } 4\pi \text{ x } 10^{-7} \text{ x } 0{,}0004}{0{,}3\pi} \text{ (henry)}$$

$$= 11{,}52 \text{ x } 10^{6} \text{ (henry)}$$

b) Perubahan persatuan waktu pada kumparan P

$$= \frac{di_p}{dt} = \frac{6 - (6)}{0{,}02} \text{ (ampere / detik)}$$

$$= 600 \text{ (empere / detik)}$$

Gaya gerak listrik induksi bersama (e_m) pada kumparan Q

$$e_m = M \frac{di_p}{dt}$$

$$= 11{,}52 \text{ x } 10^{-6} \text{ x } 600 \text{ (mili volt)}$$

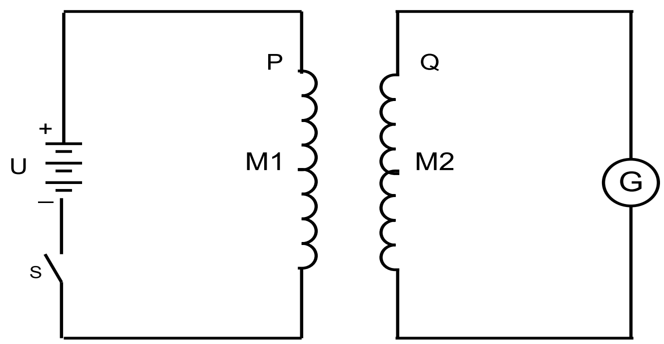
$$= 6{,}912 \text{ (mili volt)}$$

6. **Koefisien Kompling Magnetis**

Apabila dua buah kumparan ditempatkan demikian rupa, sehingga fluksi magnet yang dibangkitkan salah satu kumparan, tidak semuanya melingkupi kumparan lainnya, maka nilai konstanta K akan mempunyai harga lebih kecil dari satu. Konstanta K ini biasanya disebut dengan istilah koefisien kopling magnetis.

Misalkan fluksi yang terbangkit pada kumparan P dinyatakan sebagai berikut :

$$\phi_r 1 = \frac{n_1 i_1}{I/\mu_o \mu_r A} \text{ (weber)}$$



Gambar 2-6.1 Dua buah kumparan terpisah

Dengan demikian fluksi magnet yang melingkupi kumparan Q dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\phi_2 = K \phi_1$$

$$\phi_2 = \frac{K n_1 i_1}{I/\mu_o \mu_r A} \text{ (weber)}$$

Harga koefisien induktansi bersama dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$M = \frac{K n_1 i_2}{I/\mu_o \mu_r A}$$

Demikian pula koefisiensi induktansi sendiri untuk kumparan yaitu (L_1) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L_1 = \frac{n_1\phi_2}{i_1}$$

$$= \frac{n^2 1}{I/\mu_o\mu_r A}$$

Selanjutnya koefisien induktansi sendiri untuk kumparan Q yaitu (L_2) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L_2 = \frac{n_2\phi_2}{i_2}$$

$$= \frac{n^2 2}{I/\mu_o\mu_r A}$$

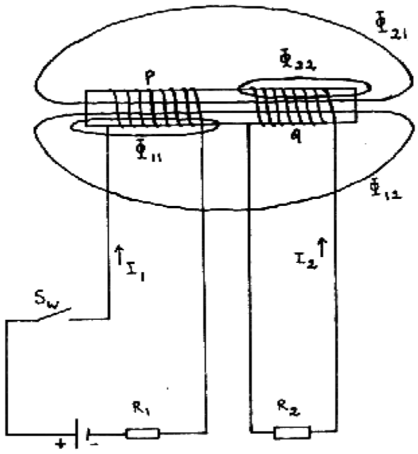
$$L_1 L_2 = \frac{n_1 2}{I/\mu_o\mu_r A} \text{ x } \frac{n_2 2}{I/\mu_o\mu_r A}$$

$$= \frac{(n_1 n_2)^2}{(I/\mu_o\mu_r A)^2}$$

$$= \frac{n_1 n_2}{I/\mu_o\mu_r A}$$

$$\text{Jadi M} = \text{K} \quad L_1 L_2 \text{ atau K} = \frac{M}{L_1 L_2}$$

Apabila keseluruhan fluksi yang dibangkitkan salah satu kumparan melingkupi kumparan yang lainnya maka harga koefisien kopling magnetis sama dengan satu. Untuk jelasnya perhatikan contoh rangkaian dalam gambar 2-6.2 berikut ini.



Gambar 2-6.2 Dua buah kumparan yang terpisah, satu inti dan ditempatkan saling berhadapan.

Apabila kumparan primer P dengan jumlah lilitan n1 dililitkan saling berhadapan dengan kumparan sekunder Q yang memiliki jumlah lilitan n_2 pada satu rangka inti seperti diperlihatkan dalam gambar 2-6.2 di atas,maka seketika saklar SW ditutup arus i_1 akan mengalir pada kumparan primer P.

Selanjutnya tanda 1 dan 2 dimisalkan merupakan tanda untuk besaran-besaran kumparan primer dan sekunder maka kumparan primer P akan teraliri arus listrik i_1 dan arus ini akan membangkitkan fluksi magnet ϕ dikelilingi kumparan primer tersebut. Fluksi ϕ_1 ini terdiri atas dua jenis komponen fluksi yaitu ;

a) Fluksi ϕ_{11} adalah bagian fluksi ϕ_1 yang melingkupi kumparan primer P saja.
b) Fluksi ϕ_{12} adalah bagian fluksi ϕ_1 yang melingkupi kumparan primer P dan kumparan sekunder Q.

Jadi jelasnya harga fluksi ϕ_1 ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\phi_1=\phi_{11}+\phi_{12}$$

Harga koefisien induktansi (L_1) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L_1 = \frac{n_1\phi_1}{i_1}$$

Fluksi ϕ_{12} meliputi kumparan sekunder Q yang mempunyai jumlah lilitan sebanyak n_2. Oleh sebab itu harus ada satu koefisien induktansi M_{12} dengan harga sebagai berikut:

$$M_{12} = \frac{n_{21}\phi_{12}}{i_1}$$

Koefisien induktansi M_{12} ini biasanya dikenal dengan sebutan koefisiensi induktansi bersama dari kumparan primer P terhadap kumparan sekunder Q. Arus induksi i_2 yang dibangkitkan pada kumparan sekunder Q akan membangkitkan fluksi ϕ_2, dimana fluksi ini terdiri dari dua jenis komponen yaitu :

a). Fluksi ϕ_{22} adalah bagian dari fluksi ϕ_2 yang melingkupi kumparan sekunder Q saja.

b). Fluksi , ϕ_{21} adalah bagian dari fluksi ϕ_2 yang melingkupi kumparan sekunder Q dan kumparan primer P.

Jelasnya fluksi ϕ_2 ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\phi_2 = \phi_{22} + \phi_{21}$$

Harga koefisien induktansi sendiri (L_2) dapat dinyatakan sebagai berikut

$$L_2 = \frac{n_2\phi_2}{i_2}$$

Fluksi ϕ_{21} melingkupi kumparan primer P yang mempunyai jumlah lilitan sebanyak n_1. Jadi harus ada suatu koefisien induktansi bersama M_{21} yang memiliki harga sebagai berikut :

$$M_{21} = \frac{n_2\phi_{21}}{i_{21}}$$

Koefisien induktansi M_{21} ini biasanya disebut koefisien induktansi bersama dari kumparan sekunder Q terhadap kumparan primer P. Secara numerik, koefisien induktansi M_{12} dan koefisien induktansi M_{21} adalah sama.

$M_{12} = M_{21} = M$

Dalam hal-hal yang khusus, semua fluksi magnet yang dihasilkan salah satu kumparan melingkupi kumparan yang lainnya. Dengan demikian fluksi magnet $\phi_{11}= \phi$, dan juga ϕ_{22} =0. Oleh sebab itu maka ;

ϕ_1 = ,1_2 dan ,2 =,2_1

Berdasarkan hal khusus tersebut di atas maka dapat ditulis bentuk persamaan sebagai berikut :

$$= \quad (\frac{n_1\phi_1}{i_1}) \; (\frac{n_2\phi_2}{i_2}) \; (\frac{n_2\phi_1}{i_1}) \; (\frac{n_1\phi_2}{i_2})$$

Atau

$L_1 L_2 = M_{12} M_{21} = M_2$

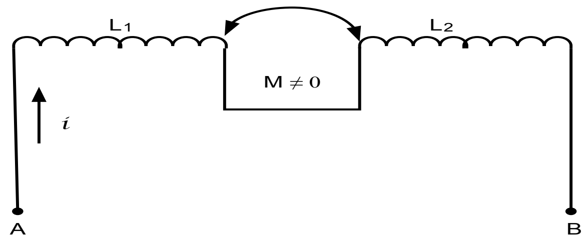
Atau

$M = L_1 L_2$ dimana K = 1

7. **Indukstansi kumparan dalam hubungan seri**

Dua buah kumparan yang memiliki induktansi L_1 dan L_2 dapat dihubungkan dalam beberapa cara sebagai berikut :

1. Induktansi dua buah kumparan yang tidak terkopel secara magnetik dalam hubungan seri



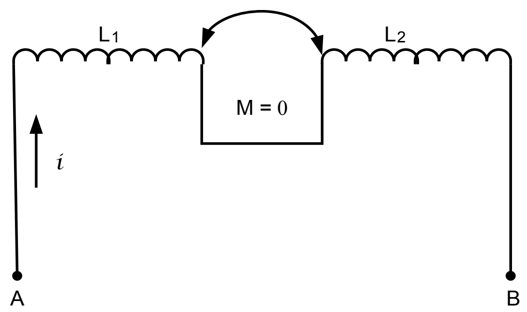
Gambar 2-7.1 Tanda dua buah kumparan yang tidak terkopel secara magnetis.

Gambar 2-7.1 di atas memperlihatkan bahwa tidak ada fluksi magnet bersama antara kedua kumparan, dengan demikian tidak ada koefisien induktansi bersama.

Jadi induktansi total rangkaian dapat dinyatakan sebagai berikut :

$L = L_1 + L_2$

2) Induktansi dua buah kumparan yang terkopel secara magnetik dalam hubungan seri.



Gambar 2-7.2 Tanda dua buah kumparan yang terkopel secara magnetis.

Gambar 2-7.2 di atas memperlihatkan dua buah kumparan dengan induktansi masing-masing L_1 dan L_2 dimana keduanya dilingkupi oleh medan magnet bersama, sehingga koefisien induktansi bersama M tidak sama dengan nol. Pada kondisi ini kedua kumparan dikatakan terkopel secara magnetis.

Jika arus listrik dalam kumparan berubah-ubah terhadap waktu dan (L) merupakan koefisien induktansi total maka gerak listrik induksi total yang dibangkitkan pada kumparan tersebut adalah :

$$e = L\frac{di}{dt}$$

Gaya gerak listrik (e) ini terdiri dari :

a) $L_1 = \frac{di}{dt}$ gaya gerak listrik pada kumparan pertama karena adanya koefisien induktansi sendiri L_1.

b) $L_2 = \frac{di}{dt}$ gaya gerak listrik pada kumparan kedua karena adanya koefisien induktansi sendiri L_2

c). $M_{12} = \frac{di}{dt}$ gaya gerak listrik pada kumparan kedua karena adanya arus berubah-ubah pada kumparan pertama.

d). $M_{21} = \frac{di}{dt}$ gaya gerak listrik pada kumparan pertama dt karena adanya arus berubah-ubah pada kumparan kedua.

Point (c) dan (d) ditulis sama jika $M_{12} = M_{21} = M$.

Karena kedua kumparan terhubung seri maka gaya gerak listrik total pada terminal AB dinyatakan sebagai berikut:

$$L_1 = \frac{di}{dt} L_1 + \frac{di}{dt} L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}$$

Apabila kedua ruas persamaan dibagi dengan faktor (di/dt) maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

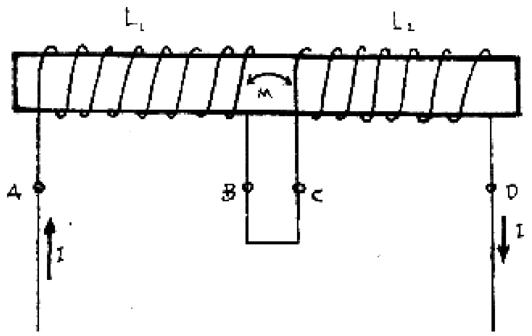
$L = L_1 + L_2 + M + M$

$= L_1 + L_2 + 2M$

7.1 Notasi dot dan metode menghubung seri kumparan yang terkopel secara magnetis.

Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk menghubung seri dua buah kumparan yang terkopel secara magnetis.

1) Kedua kumparan dihubung sedemikian rupa sehingga medan magnet yang dibangkitkan masing-masingnya saling memperkuat satu sama lain. Hubungan kumparan dimaksud ditujukan dalam gambar 2-7.3 berikut ini :



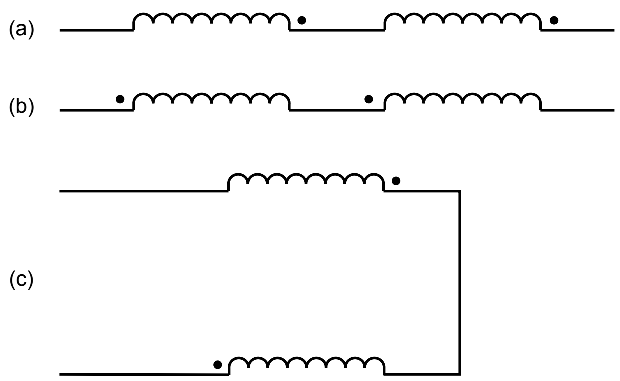
Gambar 2-7.3 Dua buah kumparan seri terkopel secara komulatif

Induksi total rangkaian ini ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut :

$$L = L_1 + L_2 + 2M$$

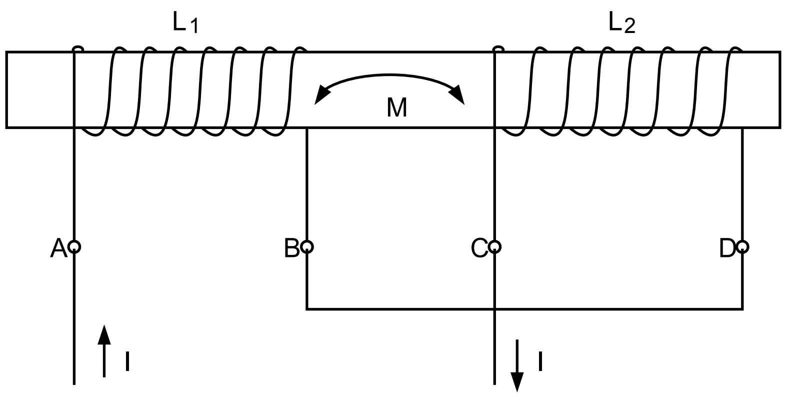
Rangkaian kumparan seperti dalam gambar (2.12) di atas biasanya dikatakan terkopel secara komulatif. Umumnya rangkaian kumparan, digambarkan dalam bentuk skema diagram rangkaian. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pembuatan gambar. Namun demikian perlu diingat bahwa sekalipun lebih mudah membuat skema diagram rangkaian, tetap saja masih ada

kelemahannya yaitu skema diagram rangkaian tidak memberi informasi yang jelas tentang apakah rangkaian tersebut terkopel secara komulatif atau tidak. Untuk memperjelas skema diagram rangkaian maka pada ujung awal atau ujung akhir kumparan selalu diberi tanda *dot* (•), menurut aturan-aturan tertentu. Sebagai contoh untuk kumparan yang terkopel secara komulatif, maka tanda *dot* (•) ditempatkan pada ujung-ujung yang sama dari masing–masing kumparan tersebut (lihat gambar 2-7.4 berikut ini) :



Gambar 2-7.4 Metode pemberian tanda dot untuk rangkaian kumparan yang terkopel secara komulatif.

2) Kedua kumparan dihubungkan sedemikian rupa sehingga magnet yang dibangkitkan masing-masing kumparan akan saling melemahkan.
   Hubungan kumparan dimaksud ditujukan dalam gambar 2-7.5 berikut ini:



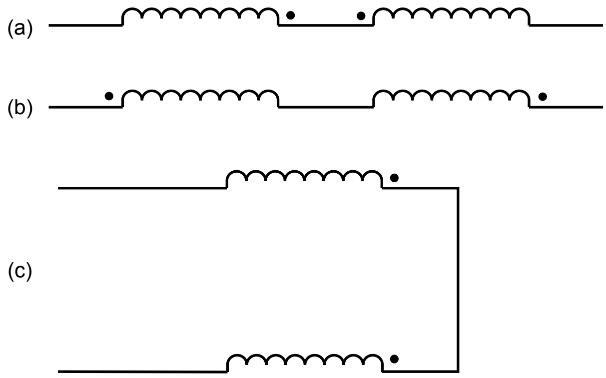
:

Gambar 2-7.5 Dua buah kumparan seri terkopel secara diferensial.

Induktansi total rangkaian kumparan dalam gambar (2.14) di atas, dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut :

$L = L_1 + L_2 - 2M$

Rangkaian kumparan ini biasanya disebut terkopel secara diferensial. Pemberian tanda *dot* pada skema diagram rangkaian untuk kumparan yang terkopel secara diferensial dilakukan dengan cara menempatkannya pada ujung-ujung yang berlawanan dari kumparan-kumparan tersebut (lihat gambar 2-7.6) berikut ini :



Gambar 2-7.6 a.b.c. Metoda pemberian tanda *dot* untuk rangkaian kumparan yang terkopel secara diferensial.

Dengan demikian induktansi total dua buah kumparan hubungan seri yang terkopel secara magnetis dapat ditulis dalam bentuk umum sebagai berikut :

$L = L_1 + L_2 \pm 2M$…………….(I)

Dimana : L = induktansi total keseluruhan rangkaian (henry)

L_1 = induktansi kumparan rangkaian pertama (henry)

L_2 = induktansi kumparan kedua (henry)

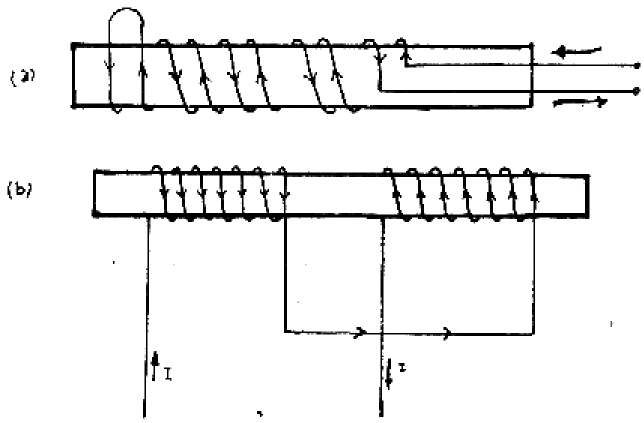
M = induktansi bersama antara kedua kumparan (henry)

Tanda positif dalam persamaan (I) di atas digunakan untuk kumparan hubungan seri yang terkopel secara komulatif.

Sedangkan tanda negatif digunakan untuk kumparan hubungan seri yang terkopel secara diferensial.

7.2 Kumparan yang tidak induktif.

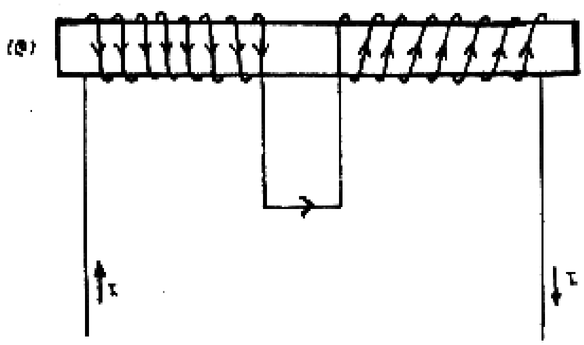
Kumparan yang tidak induktif dapat dibuat dengan cara mengatur lilitannya sedemikian rupa sehingga efek magnet yang dibangkitkan masing-masing kawat yang dililitkan saling melemahkan. Untuk jelasnya perhatikan contoh-contoh kumparan dalam gambar 2-7.7 berikut ini ;



Gambar 2-7.7 a.b. Rangkaian-rangkaian kumparan yang tidak induktif.

Gambar 2-7.7 a memperlihatkan kumparan yang dililitkan dengan kawat email ganda, sehingga terlihat bahwa lilitan kawat email tersebut membentuk dua penghatar sejajar dengan arah arus padanya berlawanan.

Dengan demikian efek magnet yang ditimbulkan masing-masing bagian



Gambar 2-7.7 c. Rangkaian kumparan yang tidak induktif.

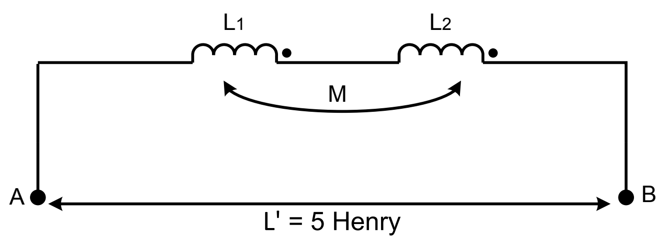
Kawat lilitan mempunyai arah berlawanan. Jadi kumparan yang dililitkan dengan cara seperti dalam gambar 2-7.7a dinamakan kumparan yang tidak induktif. Contoh kumparan tidak induktif lainnya seperti dalam gambar 2-7.7b dan gambar 2-7.7 c.

Contoh 2.13

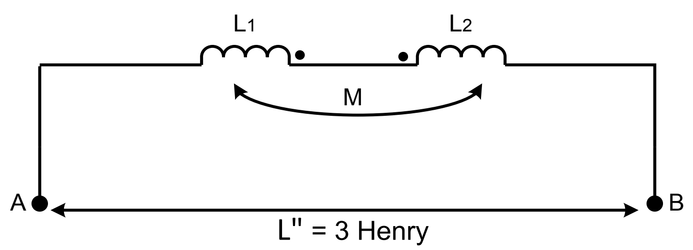
Induktansi total rangkaian seri dua buah kumparan yang terkopel secara komulatif dan secara diferensial, masing-masing adalah 5 henry dan 3 henry. Hitunglah induktansi bersama rangkaian kumparan tersebut.

Jawab.

Skema diagram rangkaian seri kumparan yang terkopel secara komulatif adalah sebagai berikut :



Skema diagram rangkaian seri kumparan yang terkopel secara diferensial adalah sebagai berikut :



$L\text{"} = L_1 + L_2 + 2M$

$L\text{"} = L_1 + L_2 - 2M$

$L\text{"} - L\text{"} \quad = (L_1 + L_2 + 2M) - (L_1 + L_2 - 2M)$

$= L_1 + L_2 + 2M - L_1 - L_2 + 2M$

$= 4M$

L" – L" = 5-3

= 2

jadi 4M = 2

M = 0,5 henry

8. **Energi Dalam Bentuk Medan magnet**

Dalam rangkaian listrik, diperlukan agar arus listrik tetap mengalir dalam rangkaian tersebut. Tetapi lain halnya pada rangkaian magnet, dimana energi diperlukan untuk membangkitkan fluksi magnet, dan energi dimaksud tersimpan dalam bentuk medan magnet.

Apabila arus listrik pada suatu kumparan L henry naik dari nol mencapai suatu harga tertentu sebesar i ampere maka sela periode kenaikan arus tersebut, pada kumparan akan terbangkit suatu gaya gerak listrik induksi. Misalkan bahwa pada suatu saat tertentu, arus listrik dalam rangkaian kumparan adalah i ampere dan pada saat itu juga tegangan yang diterapkan pada kumparan adalah e volt. Tegangan suplai e volt ini akan mempunyai harga sama dengan gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan pada kumparan tetapi dengan arah berlawanan.

e = - gaya gerak listrik induksi

$$= -\left(-L\frac{di}{dt}\right)$$

$$= L\frac{di}{dt}$$

Energi yang disuplai ke rangkaian kumparan pada selang waktu yang singkat sekali (dt) dapat dinyatakan sebagai berikut :

dw = ei dt joule

$$= -\left(-L\frac{di}{dt}\right) \times dt$$

$$= Li\,di \quad ....(i)$$

Energi total yang disuplai ke rangkaian kumparan selama selang waktu kenaikan arus listrik dari nol sampai i ampere dapat diperoleh dengan mengintegral persamaan (i) di atas.

$$W = \int_0^I dw$$

$$= \int_0^I L i di$$

$$= 1/2\ L\ (I^2 - 0^2)$$

$$= 1/2\ L\ I^2 \text{ (joule)}$$

Persamaan W di atas merupakan harga energi yang disuplai ke rangkaian kumparan dan energi tersebut tersimpan dalam kumparan dalam bentuk medan magnet.

Contoh Soal 11

Hitunglah induktansi dan energi yang tersimpan dalam medan magnet suatu solenoida yang mempunyai panjang 50 cm, diameter 5 cm, jumlah lilitan 1000 buah, mengalirkan arus listrik 5A.

Jawab

Jumlah lilitan (n) = 1000 buah

Penampang kumparan (A) = $\frac{\pi}{4}$ $(0{,}05)^2 m^2$

Panjang kumparan (l) = 50 cm

= 0,5 m

misalkan bahwa inti kumparan adalah udara, maka permeabilitas relatif ini

(μ_r) = 1

induktansi kumparan (L) = $\frac{n^2 \mu_0 \mu_r A}{l}$

$$= \frac{(1000) \times 1 \times 4\pi \times 10^{-7} \times \pi/4 \times (0{,}05)^2}{0{,}5}$$

$$= 0{,}005 \text{ henry}$$

energi yang tersimpan dalam medan magnet (W) adalah

$W = ½ L I^2$

$= ½ \times 0{,}005 \times (5)^2$ joule

= 0,0625 joule

B.Rangkuman

- Medan magnetik adalah ruang di sekitar suatu magnet di mana magnet lain atau benda lain yang mudah dipengaruhi magnet akan mengalami gaya magnetik jika diletakkan dalam ruang tersebut.
- Garis-garis gaya magnet atau fluks magnetik adalah garis-garis yang menggambarkan adanya medan magnetik.
- Sifat garis-garis gaya magnetik
  - Garis-garis gaya magnet tidak pernah saling berpotongan.
  - Garis-garis gaya magnet selalu keluar dari kutub utara magnet dan masuk ke kutub selatan magnet.
  - Tempat yang garis-garis gaya magnetnya rapat menunjukkan medan magnetnya kuat, sebaliknya tempat yang garis-garis magnetiknya renggang menunjukkan medan magnetnya lemah.
- Gaya magnetik yang timbul pada penghantar berarus listrik digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak
- Arus listrik menghasilkan medan magnet
- Medan magnet menimbulkan gaya pada arus atau muatan bergerak
- Harga fluksi yang berubah-ubah akan membangkitkan suatu gaya gerak listrik.
- Induksi yang terjadi pada kumparan dan disebut gaya gerak listrik induksi sendiri
- Induksi Bersama terjadi bila suatu arus i_1 yang berubah-ubah dalam suatu rangkaian menyebabkan sebuah fluks magnetik yang berubah-ubah dalam rangkaian kedua, maka suatu ggl diinduksi dalam rangkaian kedua.

C.Tugas Mandiri

1). Hitunglah intensitas medan magnet (H) dan kerapatan fluksi (B) pada jarak 10 cm dari suatu konduktor lurus bulat pejal berarus listrik 300 ampere yang ditempatkan dalam udara. Gambar grafik yang memperlihatkan variasi (B) dari permukaan konduktor dimaksud apabila diketahui bahwa diameter konduktor adalah 4 mm.

2). Arus sebesar 20 ampere mengalir melalui suatu kawat lurus yang panjang. Hitunglah intensitas medan magnet (H) pada suatu satuan katub magnet yang ditempatkan sejauh 0,20 meter dari kawat tersebut. Apabila kawat dimaksud dibengkokkan membentuk suatu rangkaian *loop*, tentukanlah diameter rangkaian *loop* dimaksud sehingga intensitas medan magnet (H) yang dibangkitkan pada pusat *loop* mempunyai harga yang sama dengan intensitas medan magnet yang dibangkitkan pada poros suatu kumparan berarus listrik 10 ampere yang berpusat pada satuan kutub magnet tersebut di atas.

3). Kumparan dengan belitan berbentuk lingkaran, berdiameter 50 m dialiri arus DC sebesar 28 x 10^4 ampere. Tentukan intensitas medan magnet suatu titik yang terletak pada poros belitan, dan mempunyai jarak dari kumparan tersebut sejauh 100 meter.

4). Sebuah konduktor lurus sepanjang 2 meter, mengalirkan arus listrik 25A. Konduktor tersebut terletak 30^0 terhadap medan magnet homogen sebesar 1,6 tesla. Hitung gaya mekanik yang dibangkitkan pada konduktor tersebut.

5). Dua buah konduktor paralel, lurus, panjang ditempatkan dalam udara pada jarak 2 meter. Kedua konduktor ini mengalirkan arus listrik masing-masing I_1 dan I_2 ampere dalam arah yang sama. Intensitas medan magnet pada suatu titik yang terletak ditengah-tengah daerah antara kedua penghantar/konduktor tersebut adalah 7.95 (AT/m). Apabila gaya mekanik

pada masing-masing konduktor per satuan panjang adalah 2,4 x 10^{-4} newton, hitunglah harga I_1 dan I_2.

6). Hitung kekuatan tarik magnit besi tapal kuda terhadap suatu *armature*, jika kerapatan fluksi magnet adalah 2 tesla dan penampang magnet adalah 10 cm^2.

7). Sebuah kumparan magnet dengan resistensi 100 ohm, ditempakkan dalam medan magnet 1 miliweber. Jumlah lilitan kumparan adalah 200 buah. Galvanometer 400 ohm dihubungkan seri dengan kumparan tersebut. Hitunglah gaya gerak listrik dan arus listrik apabila kumparan digerakkan dari medan magnet pertama ke medan magnet lainnya sebesar 0,2 miliweber dalam waktu 0,1 detik.

8). Sebuah kumparan solenoida 800 lilitan dapat dilingkupi garis-garis gaya magnet yang dipancarkan oleh suatu batang magnet permanen.Apabila batang magnet ini mengeluarkan fluksi magnet sebesar 0,2 mili weber , hitunglah gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan pada kumparan jika kumparan dimaksud digerakkan menjauhi pengaruh medan magnet batang dalam waktu 40 detik.

9). Sebuah kumparan dengan belitan berbentuk empat persegi, panjang sisi-sisinya 15 cm, jumlah belitan 150 buah, diputar pada kecepatan konstan 1000 rpm dengan sumbu putar tegak lurus terhadap medan magnet homogen 1 tesla. Hitung harga sesaat gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan pada kumparan apabila :

- Kedudukan kumparan terletak sejajar dengan medan magnet.
- Kedudukan kumparan membentuk sudut 30^0 terhadap arah medan magnet.
- Kedudukan kumparan membentuk sudut 90^0 terhadap arah medan magnet.

10).Sebuah solenoida berinti udara dengan diameter 10 cm dan mempunyai panjang 100 cm. Induktansi tersebut adalah 10 mili henry. Hitung belitan solenoida.

11) Sebuah kumparan 500 lilitan ,berinti udara, berdiameter 30 cm dengan luas penampang 3 cm^2 . Hitunglah;

- Koefisien Induktansi sendiri
- Gaya gerak listrik induksi jika arus 2A dibalik dalam selang waktu 0,04 detik.

12). Sebuah kumparan 1000 lilitan, berpenampang 20 cm^2. Apabila kumparan teraliri arus listrik 4A maka kerapatan fluksi adalah 1 (wb/m^2), apabila dialiri 9A maka kerapatan fluksi (wb/m^2). Hitunglah koefisien induktansi sendiri dan gaya gerak listrik induksi pada kedua batas arus ini jika perubahan arus listrik dari 9A ke 4A terjadi dalam selang waktu 0,05 detik.

13). Apabila kumparan 300 lilitan dilingkupi fluksi magnet 0,001 weber, dimana kumparan tersebut dialiri arus listrik sebesar 20A,

- Hitunglah koefisien induktansi sendiri.
- Jika arus listrik pada kumparan dibalik dalam selang waktu satu detik, hitunglah gaya gerak listrik induksi .

D. Tugas Praktek

1. **JUDUL** : Medan Magnet

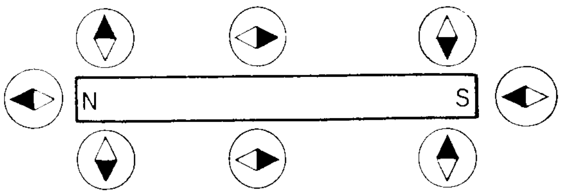
2. **TUJUAN**: Membuktikan medan magnet

3. **PERALATAN DAN BAHAN**

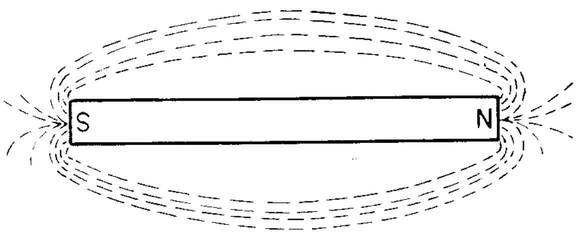
   - 2 buah Magnet batang
   - 1 buah magnet U
   - 1 buah kompas
   - 1 kantong plastik serbuk besi
   - 1 lembar kertas

4. **PROSEDUR PRAKTIKUM**

1. Letakkan kompas dalam berbagai posisi seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah dan carilah medan magnet disekitar magnet.

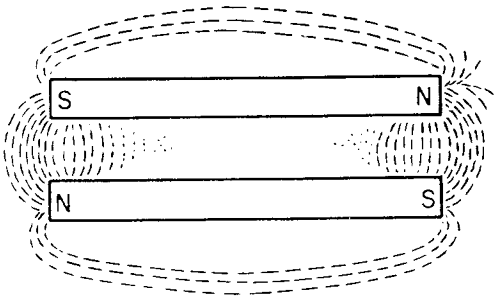


2. Letakan magnet diatas kertas dan taburkan serbuk besi dan perhatikan pola serbuk besi. Lihat apakah pola yang dibentuk serbuk besi sama dengan pola yang ditunjukkan pada gambar berikut ini!

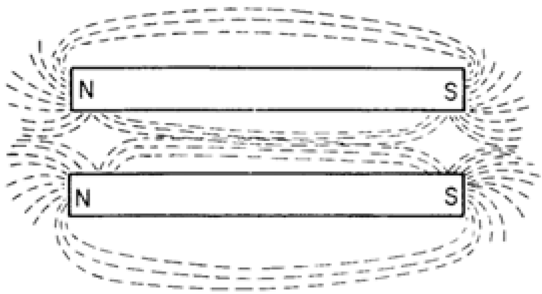


3. Gunakan 2 buah magnet batang, letakkan kedua batang magnet berdekatan dan tutup dengan kertas, taburkan serbuk besi di atasnya, dan perhatikan

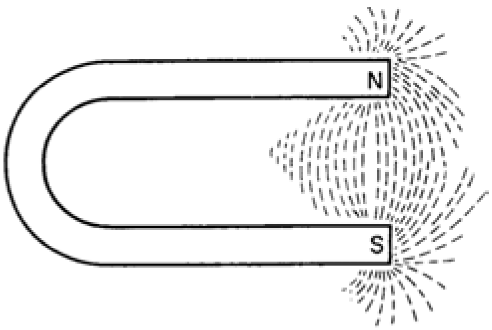
pola yang dibentuk oleh serbuk besi. Pola yang dibentuk harus sama seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini!



4. Ulangi langkah ke tiga, tetapi dengan jarak kutub berdekatan, kalian akan mendapatkan pola yang mirip dengan yang ditunjukkan pada gambar berikut ini!



5. Ulangi kembali langkah 3. Dengan menggunakan magnet U (tapal kuda) pola yang dibentuk oleh serbuk besi akan sama seperti gambar berikut ini!

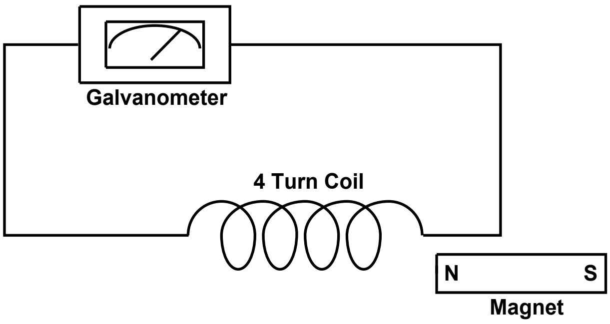


Berdasarkan percobaan jawablah pertanyaan berikut ini!

1. Dimana letak kutub magnet?
2. Kutub magnet manakah yang menghadap ke utara?
3. Bagaimana caranya agar potongan besi menjadi magnet?
4. Apa yang dimaksud dengan garis gaya dan apa yang dimaksud dengan medan magnet?

1. **JUDUL** : Mengukur dan menganalisa indukstansi
2. **TUJUAN**: Membuktikan fenomena induktansi
3. **PERALATAN DAN BAHAN:**
   - 1 buah *power supplai* DC
   - 1 buah kawat email dengan panjang 200 cm
   - 1 buah *switch*
   - 1 buah magnet batang
   - 2 buah lilitan induktansi yang nilainya sama
   - 1 buah galvanometer

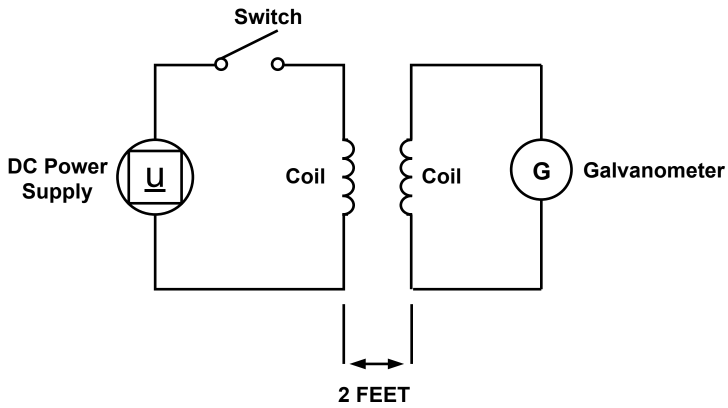
4. **PROSEDUR PRAKTIKUM**
   1. Dengan menggunakan kawat email yang dililt membentuk 4 lilitan seperi gambar di bawah ini, hubungkan kedua ujung kawat ke terminal galvanometer. Diameter lilitan harus sesuai dengan diameter magnet batang agar dapat disisipkan.



   2. Gerakan/masukan batang magnet pada lilitan kawat secara perlahan-lahan dan tarik kembali dengan kecepatan yang sama (secara perlahan-lahan juga). Amati dan cata hasil persimpangan dari galvanometer.
   3. Kemudian gerakan/masukan batang magnet pada lilitan kawat secara cepat dan tarik kembali dengan cepat juga sesuai dengan kecepatan

pada saat memasukkan batang magnet. Amati dan catat hasil persimpangan dari galvanometer seperti langkah 2.

4. Dengan menggunakan kawat email yang dililt membentuk 10 lilitan, ulangi langkah 2 dan 3. Coba kalian bandingkan hasil yang diperoleh dengan menggunakan 4 lilitan dan 10 lilitan apa yang terjadi pada simpangan galvanometer?.
5. Pada langkah ke 5 ini, coba kalian rangkai seperti gambar di bawah ini



6. Tempatkan lilitan kira-kira 60 cm, dari lilitan yang terhubung dengan galvanometer, hubungkan *supplay* DC dengan mengatur arus sebesar 2 A (besarnya tegangan disesuaikan dengan arus 2 A). Hubungkan atau lepaskan *switch (On- Off)* dengan kecepatan yang sama pada saat membuka dan menutup *switch*. Amati dan catat simpangan yang terjadi pada galvanometer.
7. Ulangi langkah 6. Dengan menggeser lilitan lebih dekat sekitar 15 cm, samapi hampir menyentuh. Perhatikan pergerakan jarum pada galvanometer karena dapat merusak galvanometer jika simpangan jarum terlalu besar
8. Buatlah perbandingan hasil percobaan pada langkah ke 6 dan ke 7
9. Kesimpulan

E. Proyek

1. Mengoperasikan Magnet

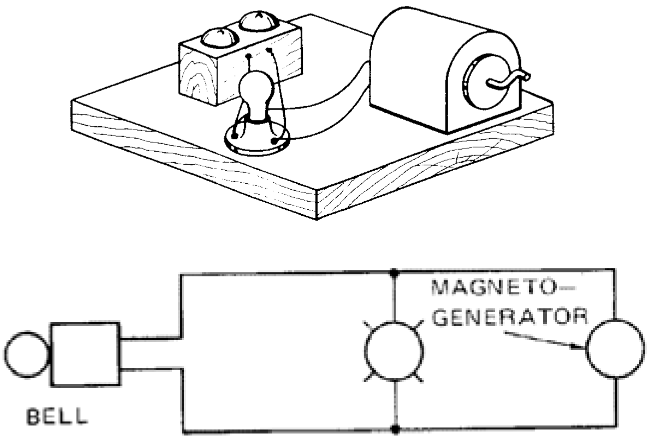
   Lebih dari 100 tahun tahun yang lalu, Michael Faraday menemukan bahwa magnet dapat menghasilkan listrik. Dari percobaannya , beliau menemukan bahwa jika sebuah magnet permanen di gerakkan melewati sebuah kawat penghantar maka pada kawat tersebut akan mengalir arus listrik. Telepon jaman dulu menggunakan sebuah magnet untuk membunyikan belnya.

   Pada tugas ini kalian harus menyediakan alat dan bahan seperti di bawah ini:

   1. 1 buah magnet
   2. 1 buah bel
   3. 1 buah lampu
   4. 1 buah *Fiting*/ dudukan lampu
   5. 1 buah *osiloskop*

   Selesaikan proyek tersebut dengan prosedur pekerjaan sebagai berikut:

   1. Pasangkan alat-alat tersebut pada papan kayu, kemudian sambungkan rangkaian seperti gambar di bawah ini!



   2. Operasikan rangkaian magnet, bel dan lampu, kemudian tanpa lampu.
   3. Sambungkan dengan *osiloskop*, jalankan magnet dan amati bentuk gelombang pada saat tegangan puncak.

Kegiatan Belajar 3. Piranti-piranti Elektronika daya

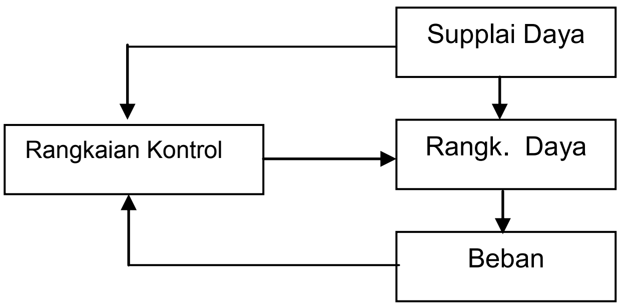
A. Uraian Materi

Pada sistem tenaga listrik terdapat penggunan komponen elektronika yang umumnya dipakai dalam rangkaian pengaturan motor-motor listrik. Pada kegiatan belajar ini kalian akan belajar tentang piranti-piranti elektronika daya. Yaitu piranti atau komponen elektronika yang dipergunakan pada sistem tenaga listrik. Kalian akan mengidentifikasi komponen elektronika daya meliputi *switching*, pengontrolan dan pengubah (konversi) blok-blok yang besar dari daya listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor .

Dengan demikian secara garis besar elektronika daya terbagi menjadi 2:

Rangkaian Daya terdiri dari komponen dioda, transistor daya dan *Thyristor*

Rangkaian Kontrol terdiri dari Dioda, transistor dan Rangkaian *integrated Circuit* (IC)



Gambar 3-1.1 Gambar rangkaian elektronika daya

1. Semikonduktor

Apakah kalian masih ingat kegiatan belajar 2 pada bahan ajar dasar dan pengukuran listrik1 semester 1, tentang bahan-bahan listrik mengenai sifat konduktor,isolator dan semikonduktor?.

Tugas 3.1 Identifikasi bahan-bahan listrik

Pada tabel di bawah ini, identifikasi bahan yang termasuk kategori isolator,konduktor dan semikonduktor

No	**Nama Bahan**	**Kategori bahan**
1	Kayu	
2	Timah	
3	Besi	
4	Dioda	

5	Kaca	
6	Tembaga	
7	Transistor	
8	*Thyristor*	
9	*Integrated Circuit (IC)*	
10	Plastik	

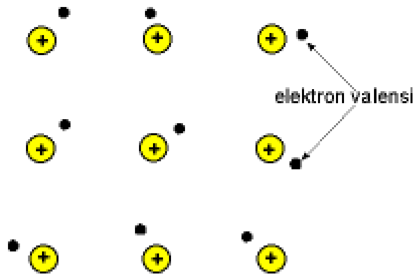
Operasi komponen elektronika benda padat seperti dioda, LED, Transistor Bipolar dan FET serta Op-Amp atau rangkaian terpadu lainnya didasarkan atas sifat-sifat semikonduktor.

Semikonduktor adalah bahan yang sifat-sifat kelistrikannya terletak antara sifat-sifat konduktor dan isolator. Sifat-sifat kelistrikan konduktor maupun isolator tidak mudah berubah oleh pengaruh temperatur, cahaya atau medan magnet, tetapi pada semikonduktor sifat-sifat tersebut sangat sensitif. Elemen terkecil dari suatu bahan yang masih memiliki sifat-sifat kimia dan fisika yang sama adalah atom. Suatu atom terdiri atas tiga partikel dasar, yaitu: neutron, proton, dan elektron.

Dalam struktur atom, proton dan neutron membentuk inti atom yang bermuatan positif, sedangkan elektron-elektron yang bermuatan negatif mengelilingi inti. Elektron-elektron ini tersusun berlapis-lapis. Struktur atom dengan model Bohr dari bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah silikon dan *germanium*.

Sebuah atom tembaga (Cu) memiliki inti 29 ion positif (+) dikelilingi oleh 29 elektron (-). Sebanyak 28 elektron menempati orbit-orbit bagian dalam membentuk inti yang disebut *nucleus*. Dibutuhkan energi yang sangat besar untuk dapat melepaskan ikatan elektron-elektron ini. Satu buah elektron lagi yaitu elektron yang ke-29, berada pada orbit paling luar.

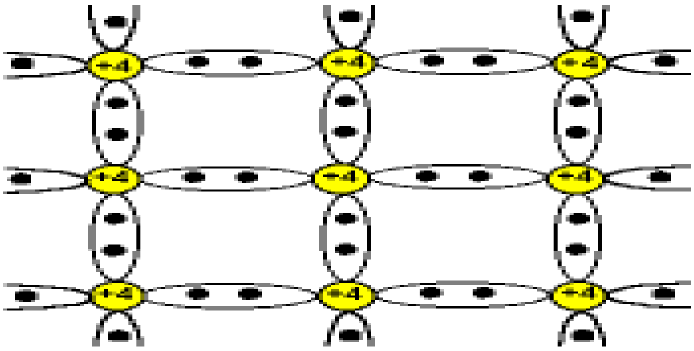
Orbit terluar ini disebut pita valensi dan elektron yang berada pada pita ini dinamakan elektron valensi. Karena hanya ada satu elektron dan jaraknya 'jauh' dari *nucleus*, ikatannya tidaklah terlalu kuat. Hanya dengan energi yang sedikit saja elektron terluar ini mudah terlepas dari ikatannya.



Gambar 3-1.2 Atom

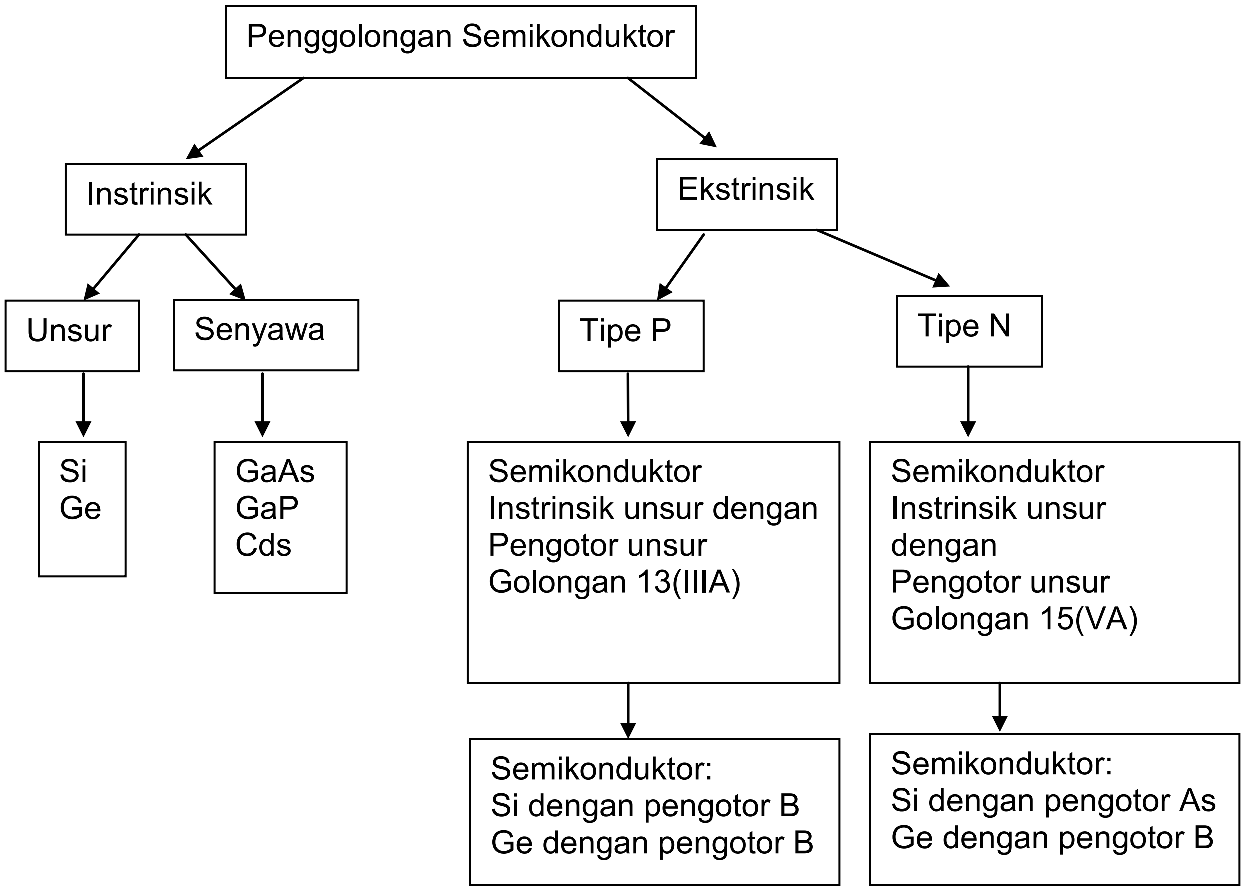
1.1 Susunan atom semikonduktor

Bahan semikonduktor yang banyak dikenal contohnya adalah *Silicon* (Si), *Germanium* (Ge) dan *Galium Arsenida* (GaAs). *Germanium* dahulu adalah bahan satu-satunya yang dikenal untuk membuat komponen semikonduktor. Namun belakangan, silikon menjadi popular setelah ditemukan cara mengekstrak bahan ini dari alam. Silikon merupakan bahan terbanyak ke dua yang ada di bumi setelah oksigen (O2).



Gambar 3-1.3 struktur dua dimensi Kristal silikon

Tugas 3.2 Struktur Penggolongan semikonduktor



Gambar 3-1.4 Struktur Penggolongan semikonduktor

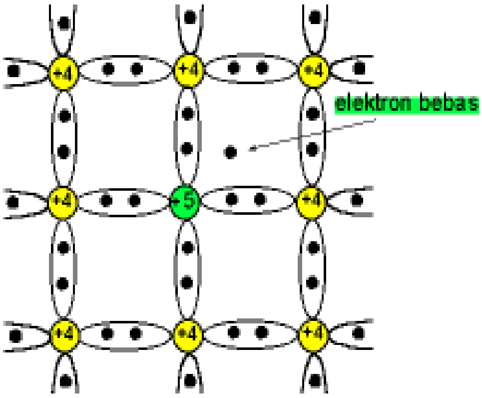
Amati struktur penggolongan semikonduktor

1. Mengapa disebut dengan semikonduktor instrinsik dan ekstrinsik, berilah penjelasan dengan singkat!
2. Dari data tersebut apakah yang dimaksud dengan tipe N dan tipe P pada semikonduktor!
3. Cobalah kalian membuat inferensi berdasarkan tabel periodik pada unsur kimia yang termasuk semikonduktor ekstrinsik.

1.2 Semikonduktor Tipe N

Bahan silikon diberi *doping phosphorus* atau *arsenic* yang pentavalen yaitu bahan kristal dengan inti atom memiliki 5 elektron valensi. Dengan *doping*, Silikon yang tidak lagi murni ini (*impurity semiconductor*) akan memiliki kelebihan elektron.

Kelebihan elektron membentuk semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-n disebut juga **donor** yang siap melepaskan elektron.



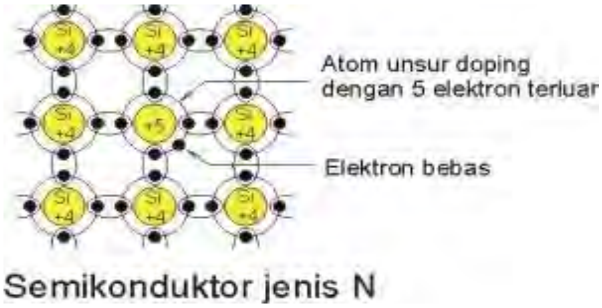
Gambar 3-1.5 *Doping* atom pentavalen

Karena atom antimoni (Sb) bervalensi lima, maka empat elektron valensi mendapatkan pasangan ikatan kovalen dengan atom silikon sedangkan elektron valensi yang kelima tidak mendapatkan pasangan. Oleh karena itu ikatan elektron kelima ini dengan inti menjadi lemah dan mudah menjadi elektron bebas. Karena setiap atom dopan ini menyumbang sebuah elektron, maka atom yang bervalensi lima disebut dengan atom donor. Dan elektron "bebas" sumbangan dari atom dopan ini pun dapat dikontrol jumlahnya atau konsentrasinya. Meskipun bahan silikon tipe N ini mengandung elektron bebas (pembawa mayoritas) cukup banyak, namun secara keseluruhan kristal ini tetap netral karena jumlah muatan positif pada inti atom masih sama dengan jumlah keseluruhan elektronnya.

Pada bahan tipe n disamping jumlah elektron bebasnya (pembawa mayoritas) meningkat, ternyata jumlah *hole*-nya (pembawa minoritas) menurun. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya jumlah elektron bebas, maka kecepatan *hole* dan elektron ber-rekombinasi (bergabungnya kembali elektron dengan *hole*) semakin meningkat. Sehingga jumlah *hole*-nya menurun.

Bahan semikonduktor tipe n dapat dilukiskan seperti pada Gambar 3-1.6 Karena atom-atom donor telah ditinggalkan oleh elektron valensinya (yakni menjadi elektron bebas), maka menjadi ion yang bermuatan positif. Sehingga digambarkan dengan

tanda positif. Sedangkan elektron bebasnya menjadi pembawa mayoritas. Dan pembawa minoritasnya berupa *hole*.

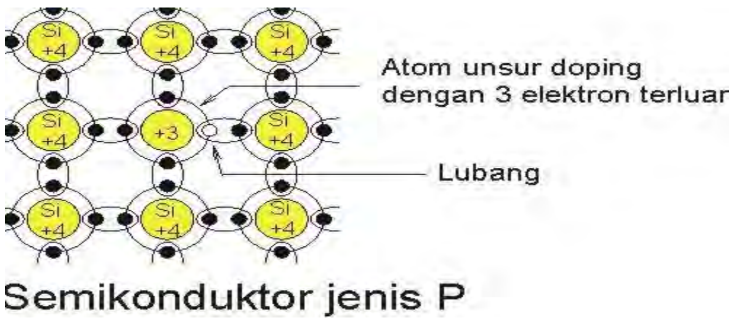


Gambar 3-1.6 Semikonduktor jenis N

1.3 Semikonduktor Tipe P

Silikon dapat dicampur dengan atom Boron (B) untuk membuat semikonduktor tipe-p. Karena Boron hanya memiliki 3 elektron di orbit paling luarnya, pembawa muatan yang baru, dinamakan "lubang" (*hole*, pembawa muatan positif), akan terbentuk di dalam tata letak kristal silikon. Dengan demikian sebuah atom bervalensi tiga akan menyumbangkan sebuah *hole*. Atom bervalensi tiga (*trivalent*) disebut juga atom akseptor, karena atom ini siap untuk menerima elektron.

Seperti halnya pada semikonduktor tipe n, secara keseluruhan kristal semikonduktor tipe n ini adalah netral. Karena jumlah *hole* dan elektronnya sama. Pada bahan tipe p, *hole* merupakan pembawa muatan mayoritas. Karena dengan penambahan atom dopan akan meningkatkan jumlah *hole* sebagai pembawa muatan. Sedangkan pembawa minoritasnya adalah elektron.



Gambar 3-1.7 Semikonduktor jenis P

2. Dioda



Gambar 3-2.1 Macam-macam bentuk dioda

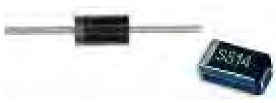
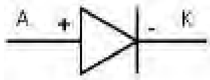
Tugas 3.3 Identifikasi piranti semikonduktor dioda

Coba kalian amati gambar fisik dari dioda

Tuliskan ada berapa macam jenis dioda

gambarkan simbol,dan fungsi dioda tersebut! (jika gambar di buku tidak jelas,coba kalian cari di internet!)

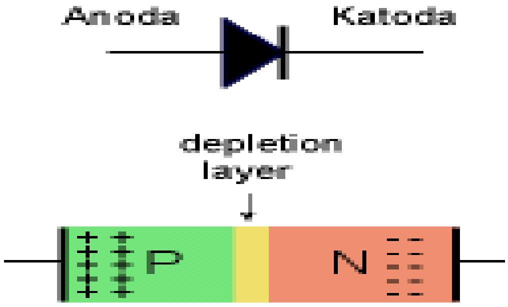
Contoh 3.1

No	**Nama Komponen**	**Gambar**	**Simbol**	**Fungsi**
1.	**Dioda Penyearah**			**Sebagai Penyearah**

No	**Nama komponen**	**Gambar**	**Simbol**	**Fungsi**
1.				
2.				
3.				

Dioda ini berasal dari dua kata *Duo* dan *Electrode* yang berarti dua elektroda, yaitu *Anoda* yang berpolaritas postif dan Katoda yang berpolatitas negatif. Secara umum dioda disimbolkan dan bentuk fisiknya seperti terlihat pada gambar. Salah satu aplikasi penggunaan dioda dalam ilmu kelistrikan adalah sebagai *penyearah arus* (*rectifier*) dari arus bolak-balik ke arus searah. Dioda merupakan piranti non-linier karena grafik arus terhadap tegangan bukan berupa garis lurus, hal ini karena adanya potensial penghalang (*Potential Barrier*). Ketika tegangan dioda lebih kecil dari tegangan penghambat tersebut maka arus dioda akan kecil, ketika tegangan dioda melebihi potensial penghalang arus dioda akan naik secara cepat.

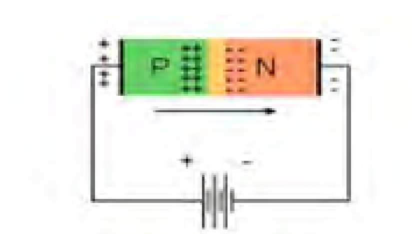
Dioda memiliki fungsi yang unik yaitu hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Struktur dioda tidak lain adalah sambungan semikonduktor P dan N. Satu sisi adalah semikonduktor dengan tipe P dan satu sisinya yang lain adalah tipe N. Dengan struktur demikian arus hanya akan dapat mengalir dari sisi P menuju sisi N.

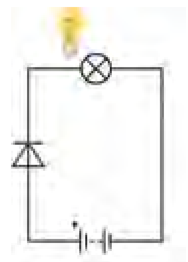


Gambar 3-2.2 Dioda

2.1 Bias Maju

Jika anoda dihubungkan dengan kutub positif sumber searah dan katodanya dihubungkan dengan kutub negatifnya seperti terlihat pada gambar 1.9., maka rangkaian tersebut dikenal sebagai rangkaian ***bias maju*** (*Forward*-Bias).



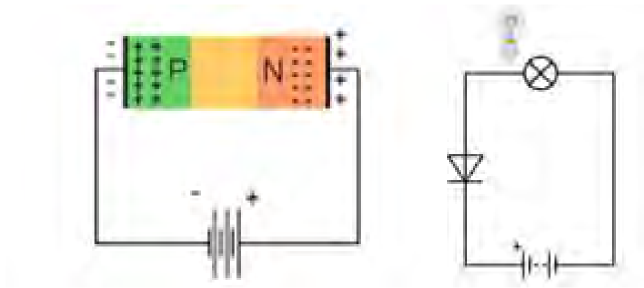


Gambar 3-2.3 Dioda Bias Maju

Pada kondisi seperti ini arus akan mengalir dari anoda menuju katoda. Tegangan dimana dioda mulai mengalirkan arus disebut sebagai tegangan kerja dioda (U_d). Untuk dioda silikon U_d± 0,7 volt sedangkan untuk dioda *germanium* U_d ± 0,3 volt.

2.2 Bias Mundur

Jika kedua elektroda dioda tersebut kita hubungkan secara terbalik (berlawanan polaritas), yaitu anoda dihubungkan dengan sumber negatif sumber searah sedangkan katoda dihubungkan dengan sumber positifnya, maka bias demikian disebut ***bias mundur*** (*Reverse*-Bias) seperti diperlihatkan pada gambar 3-2.4.



Gambar 3-2.4 Dioda Bias Mundur

Pada saat *reverse* ini dioda akan mempunyai nilai hambatan yang besar, sehingga arus tidak akan atau sedikit mengalir dalam orde mikroampere. Pada bias mundur dioda bekerja bagaikan kawat yang terputus dan membuat tegangan yang jatuh pada dioda akan sama dengan tegangan *supply*. Coba perhatikan gambar 3-2.4 diilustrasikan dengan beban, maka jika kondisi dioda bias mundur atau maka lampu tidak akan menyala. Jika tegangan sumber dinaikkan lebih besar lagi, maka suatu saat tertentu secara tiba-tiba arus akan naik secara linear. Tegangan saat arus mengalir secara linear ini dikenal sebagai tegangan patahan (*Breakdown Voltage*). Tegangan ini jika terus diperbesar akan mengakibatkan kerusakan pada dioda dan untuk itu tegangan ini dibatasi hingga tegangan nominal yang dikenal dengan nama *Peak Inverse Voltage* disingkat PIV.

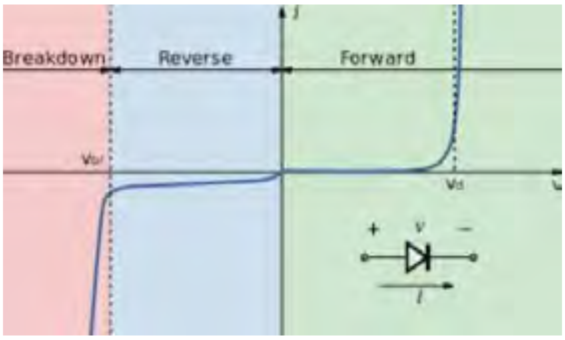
Perhatikan Spesifikasi Dioda

PIV (*Peak Inverse Voltage*) : Bila dioda digunakan pada tegangan melebihi yang ditentukan pabrik, dioda tersebut akan rusak. Untuk dioda dengan data 1N4001 alat ini memiliki 50 volt PIV, 1 A. Juga diperhatikan simbol Vrrm selain PIV.

Vrrm kemampuan tegangan tegangan terbalik maksimum.

Vf *Forward voltage* : tegangan arah maju 0,7 volt merupakan tegangan standar diantara dioda silikon. Data akan selalu terlihat apabila mendapatkan komponen.

If *Forward current* : Arus arah maju maksimum yang dapat mengalir pada dioda tanpa membahakan sehingga merusak.



Gambar 3-2.4 Spesifikasi Dioda

2.3 Bagaimana cara Mengetes dioda menggunakan Multimeter Digital?

Atur selektor multimeter pada posisi *testing* dioda. Hubung singkat kedua ujung led dan catat angka yang tertera. Catat angka yang tertera ketika kedua led dipisahkan. Saat ini pengetesan dioda berlangsung seperti gambar 3-2.5 di bawah ini.



Pengujian Dioda seperti halnya kita menguji sebuah saklar. Saat saklar pada posisi terhubung "*ON*" (sama dengan kaki Anoda dioda dihubungkan dengan led Merah +), maka pada multimeter akan menunjukkan sebuah nilai resistansi dalam satuan Ohm. Namun saat saklar pada posisi "*OFF*" (sama dengan kaki Anoda dioda dihubungkan dengan led Hitam -), maka multimeter akan menunjukkan nilai resistansi yang tinggi (sama dengan tidak terbuhung).

Gambar 3-2.5 Multimeter pengetes Dioda

Keadaan pengetesan akan arah maju bila *led* merah atau posistif dihubungkan dengan ujung anoda dioda dan *led* yang berwarna hitam dihubungkan dengan kaki katoda. Untuk arah mundur lakukan secara kebalikannya.

Tugas 3.4 Nilai Resistansi Pada Dioda

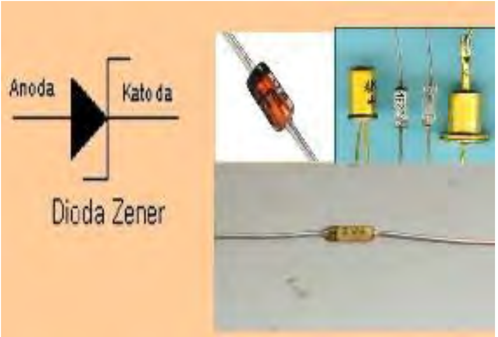
No	Komponen Dioda	Hasil Pengukuran *revers*	Hasil Pengukuran *Forward*
1	1N914	.... Ω	.... Ω
2	OA95	.... Ω	.... Ω
3	1N4004	.... Ω	.... Ω

Polaritas Multimeter testing.

Multimeter yang dibuat khusus tipe Analog, akan sulit terlihat data yang betul-betul standar. Bila multimeter diatur pada posisi ohm, berarti *led* terhubung dengan baterai. Sebagian multimeter, positif baterai terhubung dengan *led* merah, sebagian lagi positif baterai dihungkan dengan *led* berwarna hitam. Oleh karena itu, jika hendak mentes Dioda, harus diketahui polaritas terminal multimeter yang digunakan.

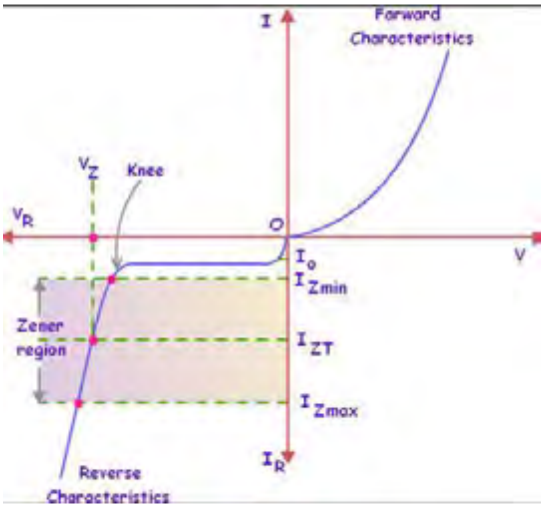
2.5 Dioda Zener

Dioda zener adalah merupakan dioda yang terbuat dari bahan silikon dan dikenal sebagai *Voltage Regulation Diode* yang bekerja pada daerah *reverse* bias (kuadran III) di daerah *breakdown*-nya. Kemampuan dioda zener berkisar mulai 2,4 volt sampai 200 volt dengan disipasi daya ¼ sampai 500 W.



Gambar 3-2.6 Dioda Zener

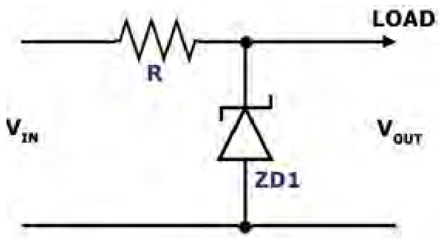
Tugas 3.5 Analisa grafik karakteristik Dioda Zener



Dari gambar kurva karakteristik di atas, Diskusikan!

1. Dimanakah daerah kerja diode zener?
2. Jika tegangan di Zener (Vz) lebih kecil dari V sumber apa yang akan terjadi?
3. Apa yang akan terjadi jika kenaikan arus di Iz maksimal terus bertambah?

Mengapa pada penggunaan dioda zener harus selalu dipasang resistor secara seri dengan dioda zener? Seperti gambar di bawah ini!



Tugas 3.6 Perhitungan Resistor dan Arus Mininal Iz pada Dioda Zener

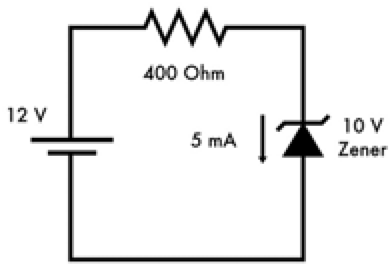
Perhitungan Nilai Resistor pada dioda zener

Agar kita mengetahui nilai tahanan seri (Rs) agar dioda terhindar dari arus lebih, maka digunakan formula sebagai berikut

$$Rs = (Vs - Vz) \;/\; Iz\,(mak.)$$

$$I_Z = (Vs\text{-}Vz)/R_S.$$

Persamaan di atas akan menghasilkan nilai Rs minimal yang dapat dipasang, sedangkan nilai Rs maksimalnya dengan memperhitungkan Iz minimal dari zener.



Contoh 3.2

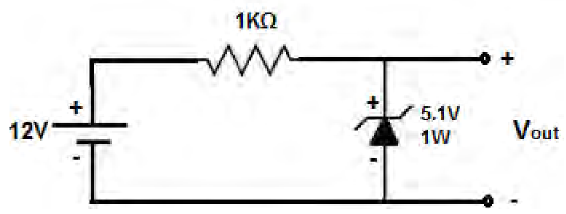
Dari rangkaian di atas berapakah nilai tahanan yang diserikan dengan diode zener?

diketahui : Vs = 12 V, Vz = 10 V,dan Iz = 5mA

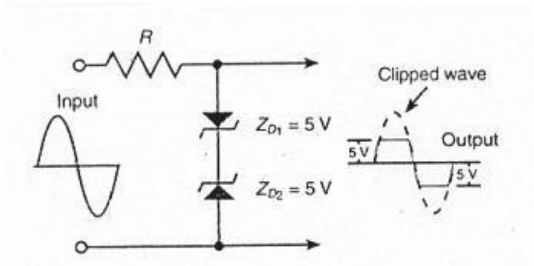
$$Rs = \frac{12-10}{0{,}005} = 400\Omega$$

Maka nilai resisor yang diperlukan adalah sebesar 400Ω

Coba kalian hitung, bagaimakah cara mencari arus minimal Iz yang melewati dioda zener pada rangkaian di bawah ini?



Zener sebagai penstabil tegangan dikarenakan karakteristiknya, maka zener dioda banyak digunakan sebagai penstabil tegangan searah. Gambar-gambar zener sebagai penstabil tegangan dapat dilihat pada gambar berikut.



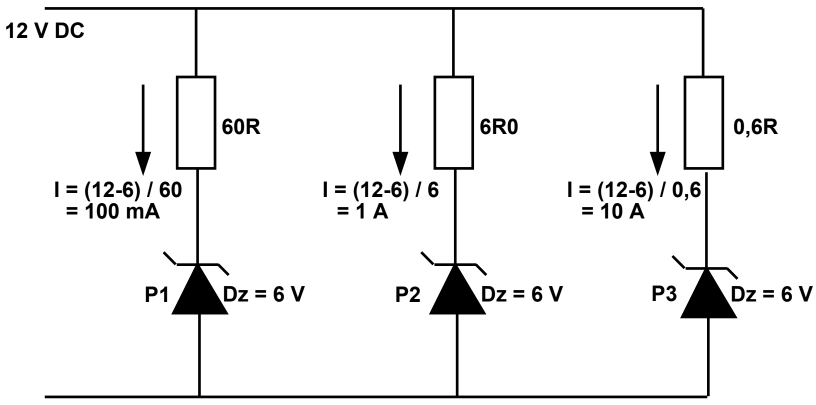
(c) Zener diode waveshaping circuit

Semakin besar ukuran fisik dioda zener semakin besar pula kemampuan daya dioda tersebut. Daya dioda Zener adalah perkalian antara tegangan dan arusnya yaitu:

Pz = V z x Iz

Selama Pz kurang dari Pz maksimumnya dioda zener tidak akan rusak. Dioda Zener banyak digunakan sebagai penyetabil tegangan / pembatas tegangan

Tugas 3.7 Perhitungan Daya pada dioda zener



Coba kalian hitung :

1. Berapa daya P1 , dengan arus 100mA dengan nilai tahanan 60Ω!
2. Berapa daya P2 ,dengan arus 1A dengan nilai tahanan 6Ω!
3. Berapa daya P3,dengan arus 10A dengan nilai tahanan 0,6Ω!

2.5 LED (*Light Emitting Diode*)

Dioda Emisi Cahaya (*Light Emitting Diode* = disingkat LED) dikenal dengan istilah lain *Solid State Lamp* adalah piranti elektronik gabungan elektronik dengan *optic* (lensa) dan akhirnya dikenal juga sebagai keluarga *Opto-Electronic*. LED adalah dioda yang dapat mengeluarkan cahaya bila diberikan *forward* bias. Simbol dan bentuk fisiknya diperlihatkan seperti gambar 3-27.



Gambar 3-2.7. Konstruksi dan simbol LED

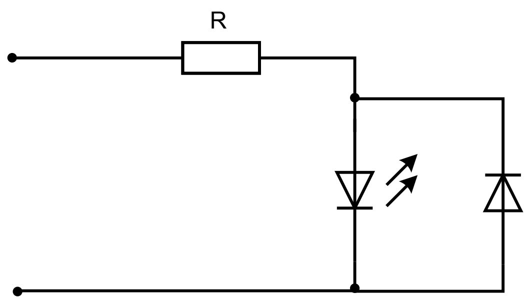
Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan LED adalah *Galium Arsenida* (GaAs) atau *Galium Arsenida Phospida* (GaAsP) atau juga *Galium Phospida* (GaP) yang dapat memancarkan cahaya dengan warna yang berbeda. Bahan GaAS memancarkan warna infra-merah, Bahan GaAsP warna merah atau kuning sedangkan bahan GaAsP dengan warna merah atau hijau.

Batasan kemampuan LED

LED mempunyai batas kemampuan arus maupun tegangan yang dibedakan berdasarkan warna seperti diperlihatkan pada tabel 3 berikut.

WARNA	TEGANGAN MAJU
Merah	*1,8 volt*
Orange	*2,0 volt*
Kuning	*2,1 volt*
Hijau	*2,2 volt*

Jika LED digunakan sebagai indikator cahaya dalam suatu rangkaian arus bolak-balik, biasanya dihubungkan paralel dengan sebuah dioda penyearah secara terbalik (anti-paralel) seperti terlihat pada gambar 1.27.



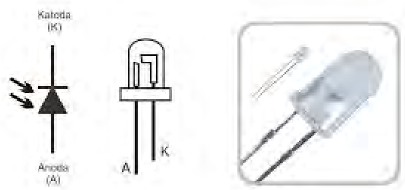
Gambar 3-2.8. LED sebgai indikator sumber ac

2.6 *Photo* dioda

Tugas 3.8 Identifikasi penggunaan *photo* dioda

Cobalah kalian pelajari bagaimanakah cara kerja *photo* dioda!

Setelah mengetahui cara kerja *photo* dioda, identifikasi penggunaan *photo d*ioda sebagai sensor pada aplikasi alat elektronik!



Gambar 3-2.9 *Photo* Dioda

Bila diperhatikan, simbol *Photo* Dioda hampir mirip dengan simbol LED, bedanya adalah simbol LED memiliki anak panah ke arah luar yang artinya memancarkan cahaya. Sedangkan pada simbol *Photo* Dioda memiliki arah anak panah ke dalam, ini artinya *Photo D*ioda menerima cahaya dari luar. Namun pada bentuk fisik antara LED dan *Photo* dioda memiliki kesamaan. Dioda cahaya ini bekerja pada daerah *reverse*, jadi hanya arus bocor saja yang melewatinya. Dalam keadaan gelap, arus yang mengalir sekitar 10 μA untuk dioda cahaya dengan bahan dasar *germanium* dan 1μA untuk bahan silikon.

2.7 Dioda *Schottky*

Dioda jenis ini menggunakan logam emas, perak, atau platina pada salah satu sisi *junction* (biasanya pada tipe-N) yang di *dop* ke sisi lain. Dioda semacam ini adalah piranti unipolar (tidak berpolaritas) karena elektron bebas merupakan pembawa mayoritas pada kedua sisi *junction*. Dioda *Schottky* tidak memiliki lapisan pengosongan atau penyimpanan muatan, sehingga ia dapat di *switch* (nyala-mati) lebih cepat daripada dioda bipolar. Sebagai hasilnya piranti ini dapat menyerahkan tegangan di atas frekuensi 300MHz, jauh di atas kemampuan dioda bipolar (dioda penyearah).

2.8 **DIODA sebagai Penyearah**

Berdasarkan sifat-sifat dioda, maka dioda dapat dimanfaatkan sebagai alat penyearah arus bolak-balik (*rectifier*). Ada dua macam penyearah yang dikenal, yaitu :

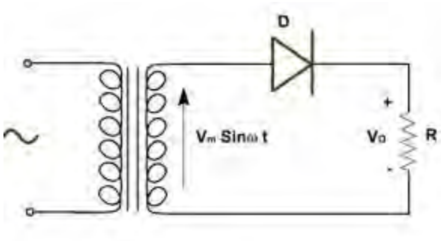
Penyearah Setengah Gelombang (*Half-Wave Rectifier*),

Penyearah Gelombang Penuh (*Full-Wave Rectifier*).

2.8.1 Penyearah Setengah Gelombang

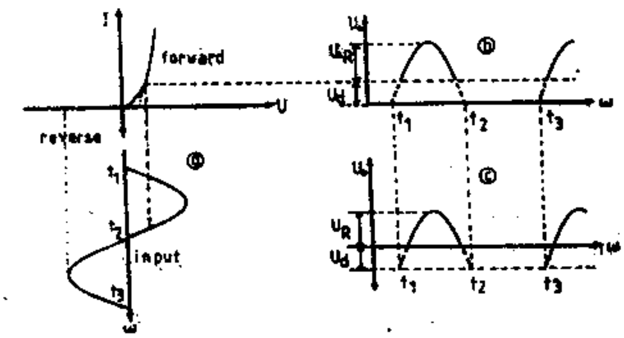
Rangkaian dasar penyearah setengah gelombang diperlihatkan pada gambar 1.11. dimana sisi primer transformator tersambung dengan sumber bolak-balik (ac)

sedangkan sisi sekunder dihubungkan seri dengan sebuah dioda dan tahanan beban (R_L).



Gambar 3-2.10 Rangkaian Penyearah setengah gelombang

Jika saklar S ditutup, maka saat t_1 – t_2 keadaan di titik A misal berpolaritas positif, maka pada setengah periode ini dioda ada dalam kondisi menghantar sehingga arus I_{RL} mengalir. Arus tersebut akan melewati tahanan R_L sehingga antara titik C dan D terbangkit tegangan yang sebanding dengan besarnya arus yang mengalir.



Gambar 3-2.11 Proses penyearahan setengah gelombang

Pada saat t_2 – t_3 titik B sedang dalam polaritas negatif dan dioda dalam kondisi menghambat, sehingga R_L dialiri arus *reverse* yang relatif kecil dan sering diabaikan. Jika titik A kembali positif pada saat t_3 – t_4, maka proses serupa akan terulang sehingga pada R_L akan terdapat pulsa positif saja.

Proses perubahan tegangan bolak-balik menjadi pulsa searah ini disebut *penyearahan* dan dikarenakan hanya setengah periode saja yang dapat dimanfaatkan, maka penyearah seperti ini dikenal sebagai <u>Penyearah Setengah Gelombang</u>. Guna menghitung besar harga rata-rata signal yang disearahkan dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut :

$U_{dc} = U_m / \pi = 0{,}318\ U_m$

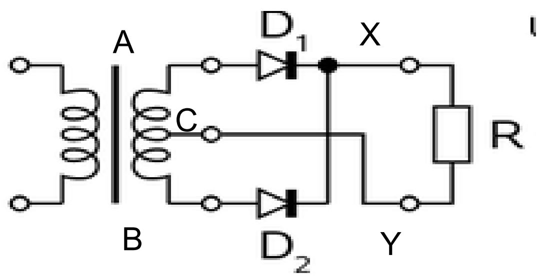
Dimana : U_m = harga maksimum tegangan ac

U_{dc} = harga rata-rata tegangan dc

2.8.2 Penyearah Gelombang Penuh

Ada dua macam penyearah gelombang penuh, yaitu sistem titik-tengah (*centre-tap*) dan Sistem Jembatan (*bridge*).

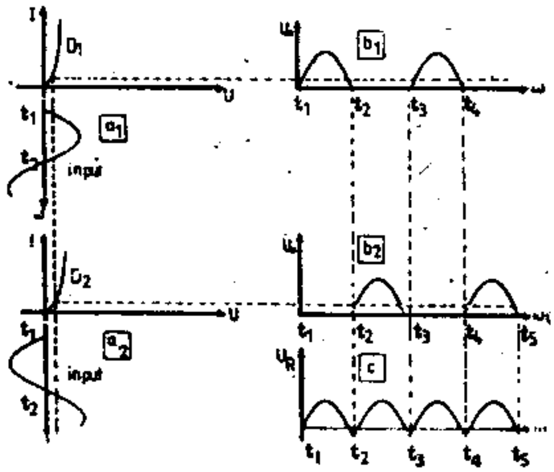
Penyearah sistem titik-tengah menggunakan transformator *centre-tap*, dimana jumlah lilitan antara titik AC sama dengan jumlah lilitan pada titik CB.



Gambar 3-2.12 Sistem Centre-tap

Ujung A dihubungkan pada dioda D_1 dan ujung B pada dioda D_2. Ujung lain dari dioda ini dihubungkan pada titik yang sama dari ujung tahanan R_L di titik X dan ujung titik Y disambungkan ke titik tengah transformator C.

Kerja penyearah ini dapat dilihat pada gambar 3-2.13. dimana kurva a1 dan a2 menunjukkan tegangan yang masuk pada dioda D_1 dan D_2 yang selalu berlawanan fasa dan sama besarnya.



Gambar 3-2.13 Proses Penyearahan Gelombang Penuh

Pada saat t_1 – t_2 ujung A sedang berpolaritas positif, sedangkan ujung B negatif sehingga pada sat ini dioda D_1 yang sedang menghantar (kurva b_1 saat t_1 – t_2), sedangkan D_2 tidak menghantar (kurva b_2 saat t_1-t_2).

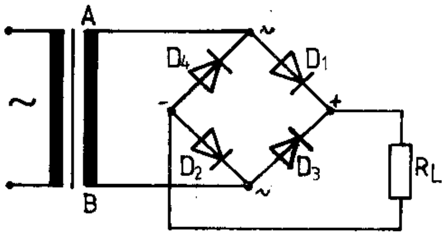
Pada saat t_2 - t_3 ujung A berpolaritas negatif sedang ujung B positif sehingga pada saat ini dioda D_2 yang menghantar (kurva b_2 saat t_2 - t_3) sedang D_1 tidak menghantar (kurva b_1 saat t_2 – t_3).

Dengan demikian kedua dioda tersebut secara bergantian setiap setengah periode dan tahanan R_L sertiap saat selalu dilewati arus (kuva c) yang berbentuk pulsa positif. Dikarenakan satu gelombang penuh tegangan bolak-balik telah dimanfaatkan, maka rangkaian ini dinamakan penyearah gelombang penuh.

Kelebihan penyearah gelombang penuh dari penyearah setengah gelombang adalah menghasilkan tegangan rata-rata (U_{dc}) dua kali lipat atau dituliskan sebagai berikut :

$$U_{dc} = 2 \times 0{,}318\ U_m$$
$$= 0{,}636\ U_m$$

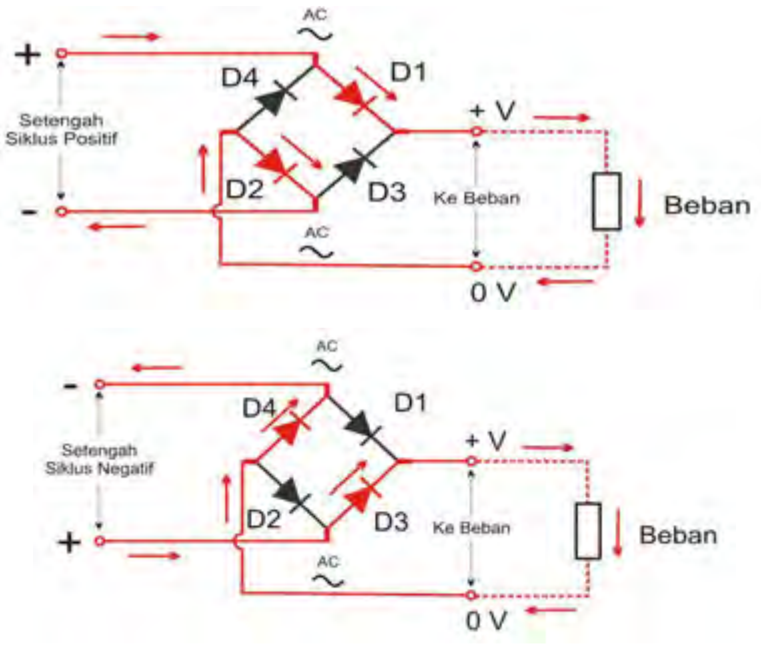
Untuk penyearah gelombang penuh Sistem Jembatan diperlukan empat buah dioda yang dipasang sedemikian rupa seperti diperlihatkan pada gambar 3-2.14.



Gambar 3-2.14 Penyearah sistem Jembatan

Ketika titik A sedang positif, dioda D_1 dan D_2 berada dalam kondisi menghantar, sedang dioda D_3 dan D_4 tidak menghantar perhatikan gambar 3-2.15.

Guna memudahkan anda mengetahui bagaimana sistem ini bekerja, maka ikuti gambar dimana ketika titik A sedang negatif, dioda yang menghantar adalah dioda D_3 dan D_4 ,sedang D_1 dan D_2 tidak menghantar perhatikan gambar.



Gambar 3-2.15 Proses kerja Sistem Jembatan

Dengan demikian pada setiap setengah periode tegangan bolak-balik ada dua buah dioda yang bekerja secara serempak sedangkan dua buah lainnya tidak bekerja. Adapun hasil penyearahan dari sistem ini adalah mirip dengan sistem Titik-Tengah.

Dioda sebagai pelipat tegangan (*Voltage Multiplier*)

Guna melipat tegangan dari suatu sumber tegangan searah, maka dapat dibuat rangkaian pelipat yang dasarnya adalah merupakan rangkaian penyearah tegangan. Besar tegangan yang dilipatkan dapat diatur mulai dari dua kali lipat, tiga kali lipat atau seterusnya.

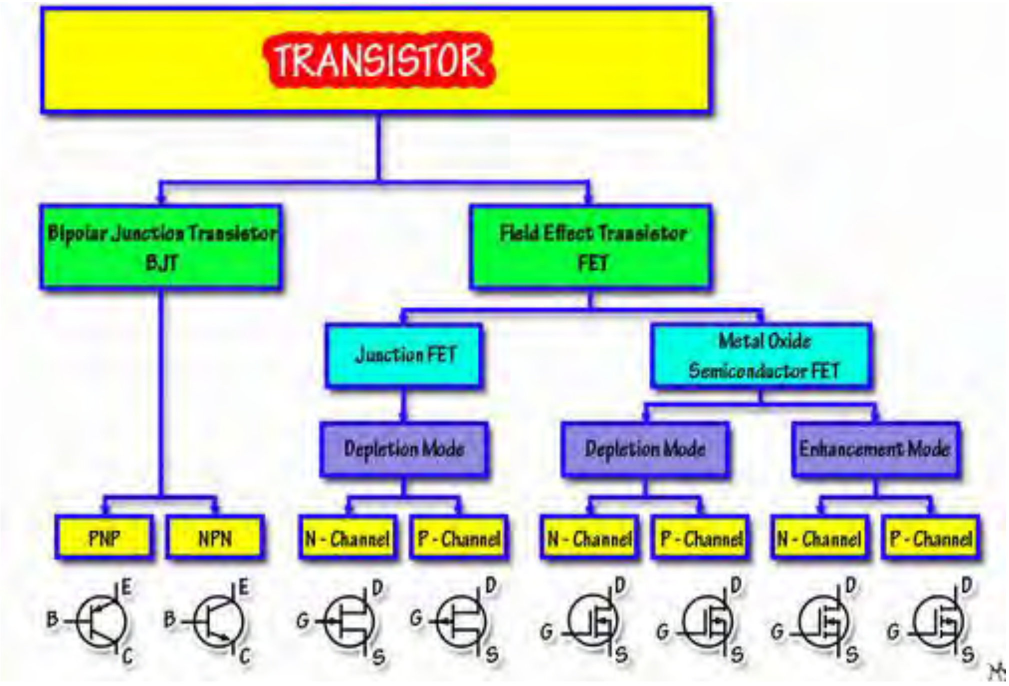
Contoh melipatkan nilai tegangan *output* menjdi dua kali lipat

Jika diketahui tegangan efektif (rms) suatu sumber ac adalah 4,5 volt, maka tegangan maksimum (U_m) adalah 4,5 x √ 2 = 6,3 volt.

Jika tegangan tersebut dilewatkan pada rangkaian pelipat dua, maka tegangan *output* yang dihasilkan adalah Uo = 2 x 6,3 volt = ± 12,6 volt.

Rangkaian pelipat dua disebut *Doubler*, pelipat tiga disebut *Tripler* dan pelipat empat disebut *Quadrupler* atau secara umum pelipat ini disebut sebagai ***Multiplier***.

3.Transistor



Gambar 3-3.1 Jenis – jenis Transistor

Tugas 3.9 Klasifikasi Transistor

Amati gambar di atas,coba kalian klasifikasikan transistor berdasarkan jenis *Bipolar junction Transistor* (BJT) dengan *Field Effect Transistor* (FET). Buatkan dalam tabel seperti di bawah ini:

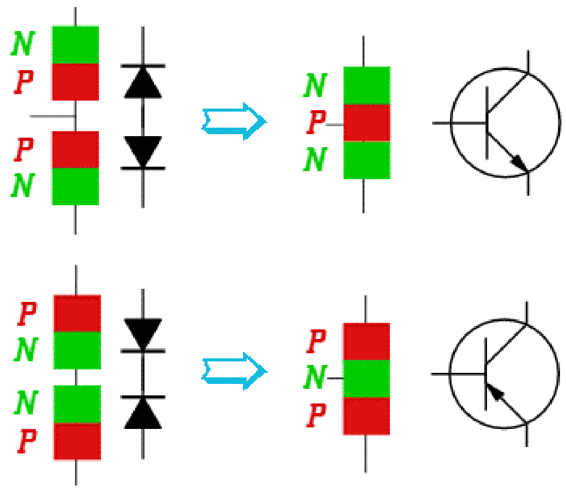
No	jenis transistor	Klasifikasi	Fungsi
1	BJT	Bipolar (dua kutub)	sebagai saklar ELEKTRONIS
2	FET		
3	UJT		
4	JFET		
5	IGFET (MOSFET)		
6	HBT		
7	MISFET		
8	VMOSFET		
9	HEMT		

10	SCR		

3.1 Transistor Bipolar

Transistor adalah piranti elektronik yang menggantikan fungsi tabung elektron-*trioda*, dimana transistor ini mempunyai tiga elektroda, yaitu *Emitter, Collector* dan *Base*. Fungsi utama atau tujuan utama pembuatan transistor adalah sebagai penguat (*amplifier*), namun dikarenakan sifatnya, transistor ini dapat digunakan sebagai saklar elektronis.

Susunan fisik transistor adalah merupakan gandengan dari bahan semikonduktor tipe P dan N seperti digambarkan pada gambar 3-3.2.

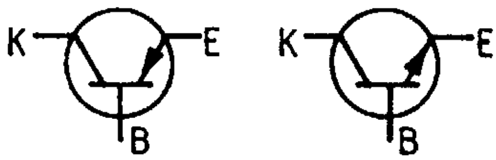


Gambar 3-3.2 Susunan fisik lapis transistor

Sedangkan gambar rangkaian penggantinya sama dengan dua buah dioda yang dipasang saling bertolak seperti terlihat pada gambar 3-3.2. Gambar 3-3.3 berikut memperlihatkan beberapa bangun fisik dan konstruksi transistor bipolar, dikatakan bipolar karena terdapat dua pembawa muatan, yaitu elektron bebas dan *hole*. Sedangkan jenisnya ada dua macam, yaitu jenis PNP dan NPN yang simbolnya diperlihatkan pada gambar 3-3.4.



Gambar 3-3.3 Bangun fisik dan konstruksi transistor bipolar



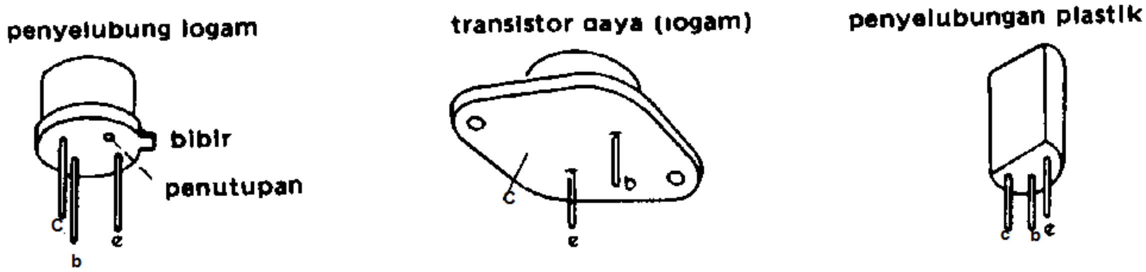
Gambar 3-3.4 Simbol transistor

Kedua jenis PNP dan NPN tidak ada bedanya, kecuali hanya pada cara pemberian biasnya saja.

Bentuk fisik transistor ini bermacam-macam kemasan, namun pada dasarnya karena transistor ini tidak tahan terhadap temperatur, maka tabungnya biasanya terbuat dari bahan logam sebagai peredam panas bahkan sering dibantu dengan pelindung (peredam) panas (*heat-sink*).

3.2 Penentuan Elektroda Transistor

Spesifikasi transistor yang lengkap dapat anda peroleh dari buku petunjuk transistor, dimana dalam buku tersebut akan anda peroleh karakteristik fisik dan listrik suatu jenis transistor bahkan dilengkapi dengan transistor ekuivalennya. Berikut ini adalah gambaran spesifikasi transistor yang banyak digunakan khususnya dalam penentuan elektroda dari transistor tersebut.



Gambar 3-3.5 Elektroda transistor

3.3 Pengkodean Transistor

Hampir sama dengan pengkodean pada dioda, maka huruf pertama menyatakan bahan dasar transistor tersebut, A = *Germaniun* dan B = Silikon, sedangkan huruf kedua menyatakan penerapannya.

Berikut ini adalah huruf-huruf kedua yang dimaksud :

C = transistor frekuensi rendah

D = transistor daya untuk frekuensi rendah

F = transistor frekuensi tinggi

L = transistor daya frekuensi tinggi

Contoh

penerapan kode ini diantaranya adalah BF 121, AD 101, BC 108 dan ASY 12.

3.4 Pengujian Transistor

Dengan menganggap transistor adalah gabungan dua buah dioda, maka anda dapat menguji kemungkinan kerusakan suatu transistor dengan menggunakan ohmmeter dari suatu multitester.

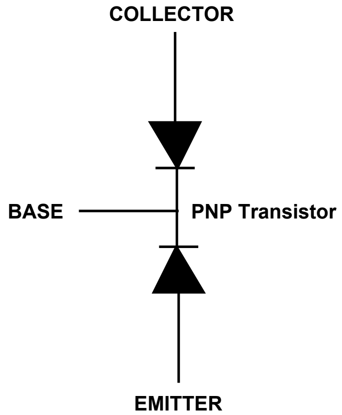
Kemungkinan terjadinya kerusakan transistor ada tiga penyebab yaitu :

- Salah pemasangan pada rangkaian
- Penanganan yang tidak tepat saat pemasangan
- Pengujian yang tidak professional

Sedangkan kemungkinan kerusakan transistor juga ada tiga jenis, yaitu :

- Pemutusan
- Hubung singkat
- Kebocoran

Pada pengujian transistor kita tidak hanya menguji antara kedua dioda tersebut, tapi kita juga harus melakukan pengujian pada elektroda kolektor dan emiternya.
Gambar 3-3.6. Memperlihatkan kembali rangkaian dioda transistor PNP yang akan dijadikan referensi pengujian transistor.



Gambar 3-3.6 Dioda Transistor

Guna mempermudah cara pengujian, berikut ini diberikan contoh hasil pengujian transistor ASY 12 dan BC 108 dengan menggunakan ohmmeter.

ELEKTRODA	ARAH	ASY 12	BC 108	*RANGE* OHMMETER
C – B	*REVERSE*	2,5 MΩ	∞	x 1 kΩ
	FORWARD	50 Ω	15 Ω	x 10 Ω
E – B	*REVERSE*	3 MΩ	∞	x 1kΩ
	FORWARD	55 Ω	18 Ω	x 10 Ω

C – E	*REVERSE*	200 kΩ	5 MΩ	x 1 kΩ
	FORWARD	8 kΩ	4 MΩ	x 1 kΩ

Dari tabel pengujian ternyata terdapat perbedaan besar antara nilai hambatan untuk arah *forward* dan hambatan untuk arah *reverse*.

Pada pengukuran elektroda C dan B untuk transistor BC 108 (silikon) dengan arah *reverse* diperoleh nilai hambatan yang besar (∞) dan jika pada pengukuran ini ternyata nilai tersebut rendah, maka dapat kita nyatakan adanya *kebocoran transistor* antara kaki kolektor dan basisnya.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam pengujian transistor dengan ohmmeter adalah posisi *RANGE* ohmmeter tersebut, karena kesalahan *range* akan menimbulkan kerusakan pada transistor yang diuji.

Cara pengujian lain transistor adalah dengan menggunakan alat elektronik yang dikenal sebagai ***Transistor Checker***. Kondisi transistor dapat juga anda uji ketika transistor tersebut sedang bekerja dalam suatu rangkaian, yaitu dengan mengukur tegangan antara basis dan emitter. Tegangan antara basis dan emitter ini normalnya untuk transistor *germanium* adalah 0,3 volt sedangkan tegangan basis emitter untuk jenis silikon sekitar 0,6 volt. Jika jauh lebih rendah atau lebih tinggi dari harga tersebut, maka transistor tersebut sedang dalam kondisi tidak normal atau rusak.

3.5 Nilai Batas Suatu Transistor

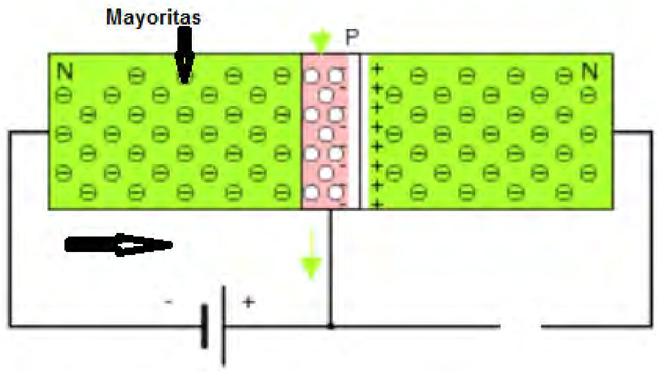
Sebagaimana telah disebutkan bahwa bahan semikonduktor akan berubah sifat jika menerima panas yang berlebihan. Suhu maksimal sutu transistor *Germanium* adalah sekitar 75^{o} C sedangkan jenis Silikon sekitar 150^{o} C. Daya yang disalurkan pada sebuah transistor harus sedemikian rupa sehingga suhu maksimalnya tidak dilampaui dan untuk itu diperlukan bantuan pendingin baik dengan *Heat Sink* atau dengan kipas kecil (*Fan*).

Pada saat penyolderan kaki-kaki transistor, harus dipertimbangkan juga temperatur solder dan selain itu biasanya digunakan alat pembantu dengan jepitan (tang) guna

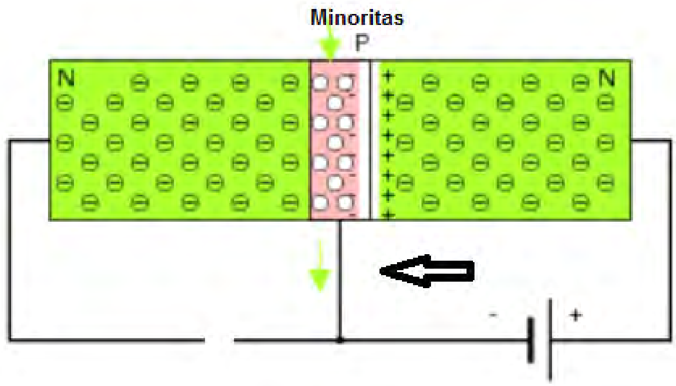
pengalihan penyaluran panas. Peralihan panas transistor ke pendingin yang baik adalah dengan bantuan *Pasta Silikon* yang disapukan antara transistor dengan badan pendinginnya. Selain itu ada juga biasanya pendingin tersebut diberi cat warna hitam guna memudahkan penyaluran panas.

3.6 Prinsip Kerja Transistor

Untuk memberi gambaran bagaimana suatu transistor bekerja, pada gambar 3-3.7 diperlihatkan operasi dasar sederhana transistor jenis NPN.



(a)



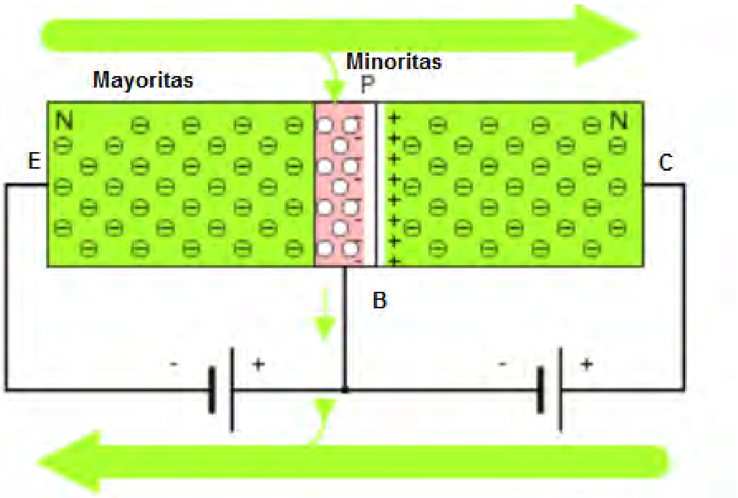
(b)

Gambar 3-3.7 Operasi dasar transistor

Pada gambar 3-3.7(a) diperlihatkan bias basis dan emitor tidak tersambung, sehingga dalam keadaan ini yang bekerja hanya basis dan kolektor saja dalam hubungan arah maju. Dalam kondisi ini daerah deplesi akan menyempit sehingga muatan mayoritas *hole* dari N akan mengalir menuju lapisan P dengan deras.

Gambar3-3.7 (b) memperlihatkan basis dan kolektor diberi bias mundur dan dalam kondisi ini daerah deplesi akan melebar sehingga yang mengalir hanya muatan

minoritas dari P menuju N. Jika sekarang kedua potensial secara bersama dipasang seperti gambar 1.8, maka akan tampak kedua aliran mayoritas dan minoritasnya.



Gambar 3-3.8 Aliran mayoritas dan minoritas

Pada gambar terlihat sejumlah besar muatan mayoritas menyebrang dari N menuju P sebagai arus basis (I_B) dan juga langsung menuju N (kolektor) sebagai arus kolektor (I_C). Karena potensial kolektor lebih negatip dibandingkan dengan basis, maka muatan mayoritas ini sebagian besar akan menuju lapisan N (kolektor) sedangkan sisanya akan menuju ke basis.

Jika kita gunakan hukum *Kirchhoff*, maka

$$I_E = I_C + I_B$$

Jika besar tegangan antara kolektor dan basis (U_{CB}) konstan, maka perbandingan perubahan arus kolektor I_C dengan perubahan arus *emitter* I_E disebut *faktor penguatan basis bersama* dan diberi simbol α (alpha) dan besarnya berkisar dari 0 sampai 0,998. Secara pendekatan rumus alpha ini adalah

$$\alpha \cong \frac{I_C}{I_E}$$

Harga α lebih besar dari nol tapi lebih kecil dari satu sehingga sering ditulis sebagai

$0 < \alpha < 1$

3.7 Konfigurasi Penguat Transistor

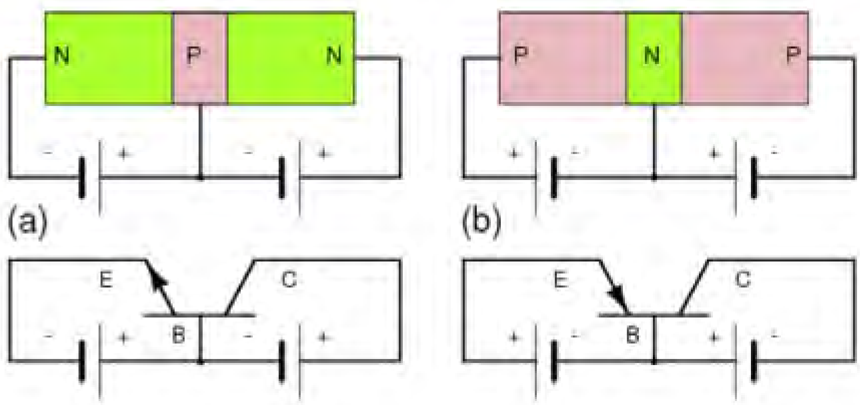
Transistor adalah piranti aktif, dimana *output*-nya adalah merupakan hasil perubahan dari *input*-nya. Dengan membandingkan antara *out*put dengan *input*-nya, maka akan diperoleh faktor penguatan (*amplification*). Dengan demikian, maka transistor ini dibuat atau dipersiapkan sebagai piranti penguat.

Sebagai piranti elektronik, transistor mempunyai tiga elektroda yang tersusun sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai sebuah penguat.

Ada tiga sistem sambungan (konfigurasi) dari penguat transistor, yaitu konfigurasi *Basis Bersama (Common Base), Emiter Bersama (Common Emitter)* dan *Kolektor Bersama (Common Collector)*.

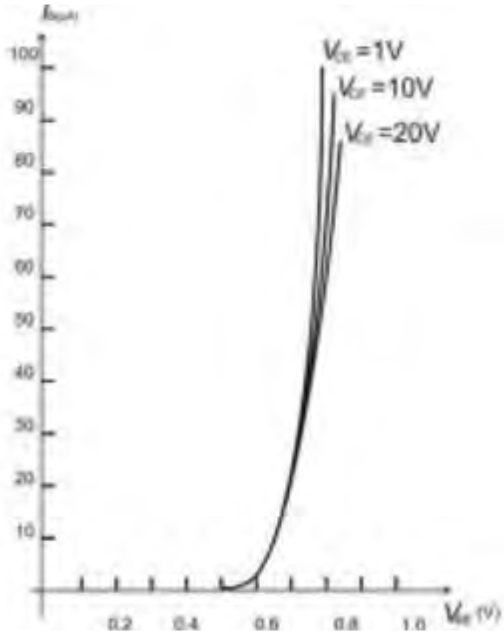
3.7.1 Konfigurasi Basis Bersama

Rangkaian pada gambar 3-3.9 memperlihatkan rangkaian konfigurasi Basis Bersama (CB) dengan potensial U_{EB} dan U_{CB} untuk kedua jenis transistor NPN dan PNP. Untuk jenis PNP, *emitter* positif terhadap basis sedangkan kolektornya negatif. Sedangkan untuk jenis NPN sebaliknya *emitter* negatif terhadap basis dan kolektornya positif.



Gambar 3-3.9 Konfigurasi Basis Bersama

Karakteristik *input* atau karakteristik *emitter* konfigurasi basis bersama diperlihatkan pada gambar 3-3.10.

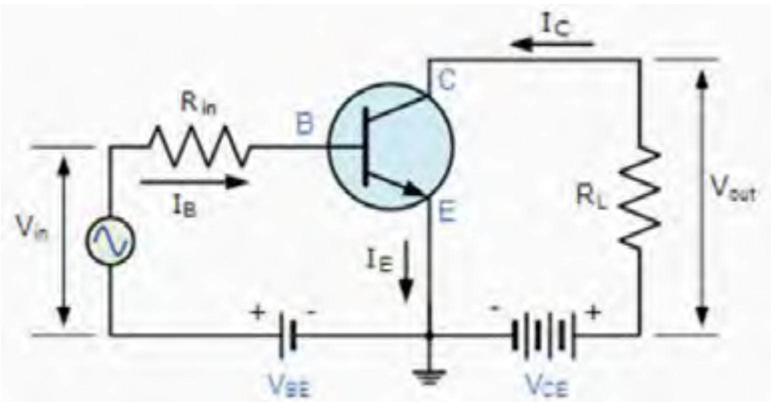


Gambar 3-3.10 Karakteristik input konfigurasi basis bersama (CB)

Dari karakteristik terlihat bahwa dalam mode arus searah, tegangan hantar untuk sambungan basis ke *emitter* sekitar 0,6 s/d 0,7 volt, ini menandakan berlaku bagi bahan dasar silikon, sedangkan untuk bahan dasar *germanium* sekitar 0,3 volt.

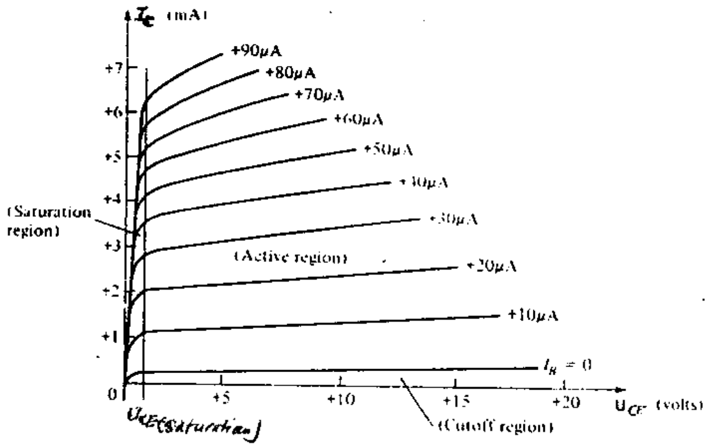
3.7.2. Konfigurasi Emitter Bersama

Konfigurasi *emitter* bersama (CE) sambungannya diperlihatkan pada gambar 3-3.11 tampak bahwa *emitter* digandeng bersama baik dengan kolektor maupun basisnya.



Gambar 3-3.11 Konfigurasi Emiter Bersama (CE)

Karakteristik kolektor tipe NPN atau karakteristik *output*-nya diperlihatkan pada gambar 3-3.12. Karakteristik *output* ini melukiskan arus *output* I_C yang merupakan fungsi dari tegangan *output* U_{CE} untuk harga arus *input* I_B yang bervariasi.



Gambar 3-3.12. Karakteristik Output Emitter Bersama

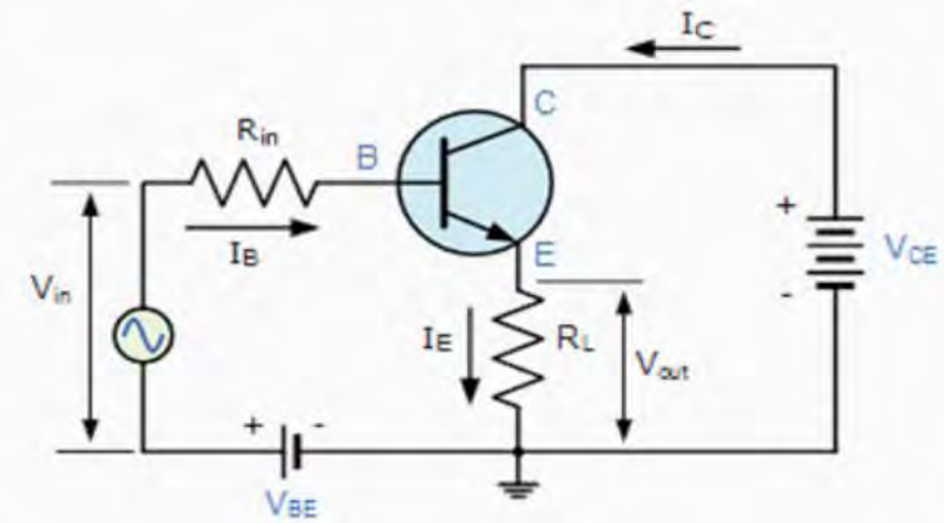
Perbandingan arus kolektor dengan arus basis dengan tegangan kolektor-*emitter* konstan disebutkan sebagai *faktor penguatan arus maju emitter bersama* disimbolkan dengan huruf Yunani β (betha). Hubungan faktor penguatan α dengan β dituliskan sebagai berikut :

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

atau

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Konfigurasi kolektor bersama (CC) sambungannya diperlihatkan seperti gambar 3-3.13. Konfigurasi ini sering digunakan sebagai *penyama-impedansi* (*matching-impedance*), dimana dengan impedansi *input* tinggi dan *output*-nya rendah.



Gambar 3-3.13. Konfigurasi Kolektor Bersama (CC)

3.8. Penggunaan Transistor

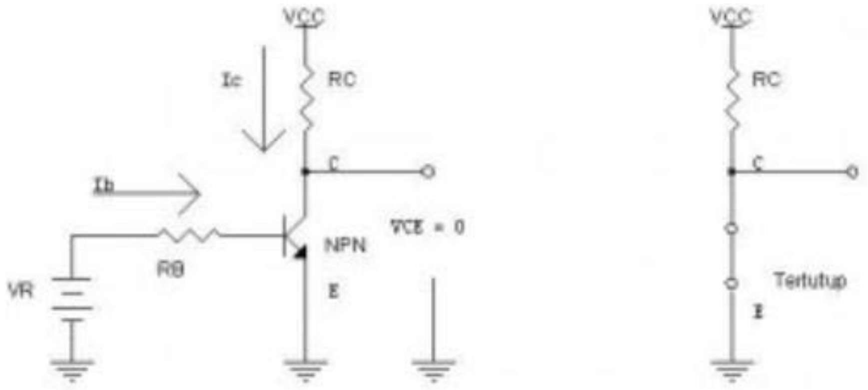
Sebagaimana tujuan dari pembuatan transistor, maka transistor awalnya dibuat untuk menguatkan sinyal-sinyal, daya, arus, tegangan dan sebagainya. Namun dikarenakan karakteristik listriknya, penggunaan transistor jauh lebih luas dimana transistor ini banyak digunakan juga sebagai saklar elektronik dan juga penstabil tegangan.

3.8.1 Transistor sebagai saklar

Dengan memanfaatkan sifat hantar transistor yang tergantung dari tegangan antara elektroda basis dan *emitter* (Ube), maka kita dapat menggunakan transistor ini sebagai sebuah saklar elektronik, dimana saklar elektronik ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan saklar mekanik, seperti :

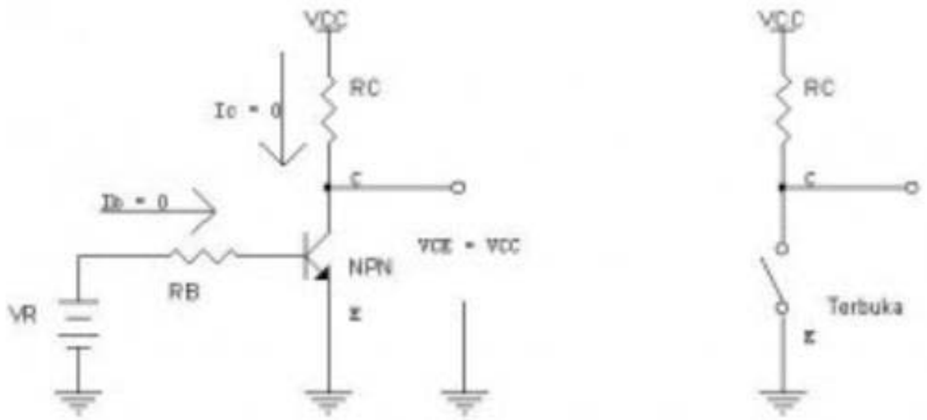
- Fisik relatif jauh lebih kecil,
- Tidak menimbulkan suara dan percikan api saat pengontakan.
- Lebih ekonomis.

Prinsip saklar elektronik dengan transistor diperlihatkan seperti gambar 3-3.14, dimana dalam gambar tersebut diperlihatkan kondisi *ON* dan *OFF* nya.



Gambar 3-3.14a. Saklar Transistor kondisi *Off*

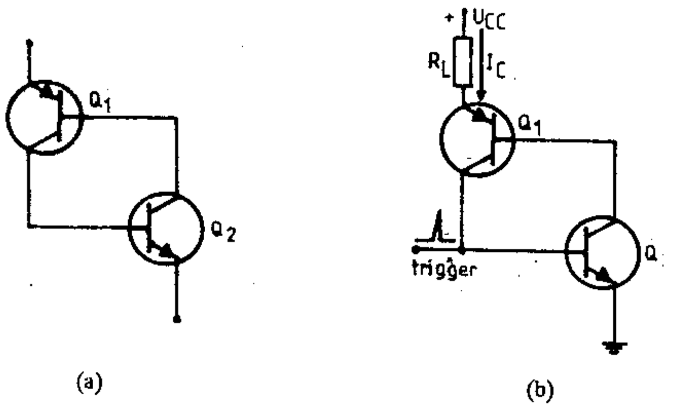
Kondisi *OFF* terjadi jika I_C .R_C= 0, dimana dalam kondisi ini tegangan U_{BE} lebih kecil dari tegangan konduk transistor, sehingga tegangan V_{CE} = V_{CC}.



Gambar 3-3.14b. Saklar Transistor kondisi ON

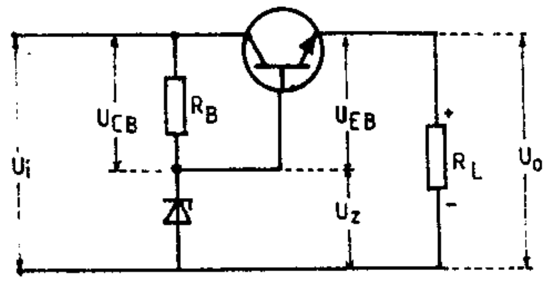
Sedangkan kondisi *ON* atau disebut juga *kondisi saturasi* akan terjadi jika I_C . R_L = U_{CC} atau V_{CC} , dimana dalam kondisi ini U_{BE} sudah mencapai tegangan konduk transistor sehingga U_{CE} = 0. Dengan mengatur Ib = 0 atau tidak memberi tegangan pada bias basis atau basis diberi tegangan mundur terhadap emitor maka transistor akan dalam kondisi mati (*cut-off*), sehingga tak ada arus mengalir dari kolektor ke emitor (Ic≈0) dan Vce ≈ Vcc. Keadaan ini menyerupai saklar pada kondisi terbuka.

Selain itu prinsip *switching* ini juga diterapkan dalam *rangkaian kaskade*, yaitu rangkaian yang terdiri dari dua buah transistor dengan pengutuban berbeda PNP dan NPN yang dihubung seri seperti gambar 3-3.15, dimana saklar ini akan terbuka jika persambungan antara Kolektor transistor –1 (Q_1) dan Basis transistor-2 (Q_2) diberikan *signal penyulut* (*trigger*).



Gambar 3-3.15 Rangkaian Kaskade Transistor

Transistor sebagai pengatur tegangan (Voltage-Regulator)



Gambar 3-3.16 Regulator Tegangan dengan Transistor

Jika terjadi fluktuasi tegangan jala-jala pada sisi *input* atau jika ada perubahan beban R_L, maka tegangan U_{CB} akan berubah dengan jumlah yang sama, karena U_Z tetap konstan sedangkan $U_i = U_{CB} + U_Z$.

Pada saat terjadi perubahan tegangan ini, U_o akan konstan karena U_{BE} praktis tidak terpengaruh oleh perubahan U_{CB}.

4.*Thyristor*

Thyristor berasal dari bahasa Yunani yang berarti „pintu'. Dinamakan demikian barangkali karena sifat dari komponen ini yang mirip dengan pintu yang dapat dibuka dan ditutup untuk melewatkan arus listrik. Ada beberapa komponen yang termasuk *thyristor* antara lain **PUT** (*programmable uni-junction transistor*), **UJT** (*uni-junction transistor*), **GTO** (*gate turn off switch*), ***photo*** **SCR** dan sebagainya. Namun pada kesempatan ini, yang akan kemukakan adalah komponen-komponen *thyristor* yang dikenal dengan sebutan **SCR** (*silicon controlled rectifier*), **TRIAC** dan **DIAC**.

Di bawah ini adalah beberapa contoh yang memerlukan pengaturan daya, seperti:

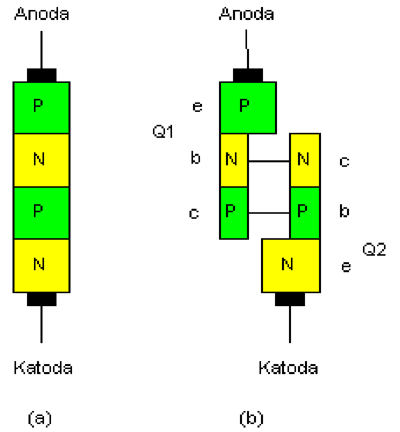
Motor-motor listrik yang mengatur kecepatan dari alat-alat, seperti: bor, mesin jahit, pengaduk makanan, kipas angin dan pompa.

Elemen-elemen pemanas yang mengatur suhu dari alat / barang seperti: elemen kompor listrik, pematrian besi dll.

Pengontrol lampu digunakan untuk penerangan domestik, penerangan teater, lampu kilat disko, dan tujuan-tujuan penerangan lain

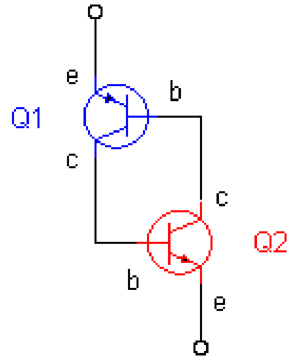
4.1 Struktur *Thyristor*

Ciri-ciri utama dari sebuah *thyristor* adalah komponen yang terbuat dari bahan semi *conductor silicon*. Walaupun bahannya sama, tetapi struktur P-N *junction* yang dimilikinya lebih kompleks dibanding transistor bipolar atau MOS. Komponen *thyristor* lebih digunakan sebagai saklar (*switch*) ketimbang sebagai penguat arus atau tegangan seperti halnya transistor.



Gambar 3-4.1 Struktur *Thyristor*

Struktur dasar *thyristor* adalah struktur 4 *layer* **PNPN** seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-4.1a. Jika dipilah, struktur ini dapat dilihat sebagai dua buah struktur *junction* PNP dan NPN yang tersambung di tengah seperti pada gambar 3-4.1b. Ini tidak lain adalah dua buah transistor PNP dan NPN yang tersambung pada masing-masing kolektor dan *base*. Jika divisualisasikan sebagai transistor Q1 dan Q2, maka struktur *thyristor* ini dapat diperlihatkan seperti pada gamba3-4.2 yang berikut ini.



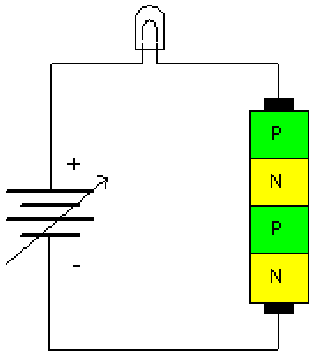
Gambar 3-4.2 Visualisasi dengan transistor

Terlihat di sini kolektor transistor Q1 tersambung pada *base* transistor Q2 dan sebaliknya kolektor transistor Q2 tersambung pada *base* transistor Q1. Rangkaian transistor yang demikian menunjukkan adanya *loop* penguatan arus di bagian tengah. Dimana diketahui bahwa $\mathbf{I_c = b\ I_b}$, yaitu arus kolektor adalah penguatan dari arus *base.*

Jika misalnya ada arus sebesar I_b yang mengalir pada *base* transistor Q2, maka akan ada arus I_c yang mengalir pada kolektor Q2. Arus kolektor ini merupakan arus *base* I_b pada transistor Q1, sehingga akan muncul penguatan pada pada arus kolektor transistor Q1. Arus kolektor transistor Q1 tdak lain adalah arus *base* bagi transistor Q2. Demikian seterusnya sehingga makin lama sambungan PN dari *thyristor* ini di bagian tengah akan mengecil dan hilang. Tertinggal hanyalah lapisan P dan N dibagian luar.

Jika keadaan ini tercapai, maka struktur yang demikian tidak lain adalah struktur dioda PN (anoda-katoda) yang sudah dikenal. Pada saat yang demikian, disebut

bahwa *thyristor* dalam keadaan *ON* dan dapat mengalirkan arus dari anoda menuju katoda seperti layaknya sebuah dioda.



Gambar 3-4.3. *Thyristor* diberi tegangan

Bagaimana kalau pada *thyristor* ini kita beri beban lampu dc dan diberi suplai tegangan dari nol sampai tegangan tertentu seperti pada gambar 3-4.3. Apa yang terjadi pada lampu ketika tegangan dinaikkan dari nol. Ya betul, tentu saja lampu akan tetap padam karena lapisan N-P yang ada ditengah akan mendapatkan *reverse-bias* (teori dioda).

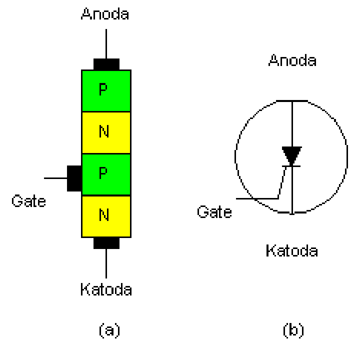
Pada saat ini disebut *thyristor* dalam keadaan ***OFF*** karena tidak ada arus yang bisa mengalir atau sangat kecil sekali. Arus tidak dapat mengalir sampai pada suatu tegangan *reverse-bias* tertentu yang menyebabkan sambungan NP ini jenuh dan hilang. Tegangan ini disebut tegangan *breakdown* dan pada saat itu arus mulai dapat mengalir melewati *thyristor* sebagaimana dioda umumnya. Pada *thyristor* tegangan ini disebut tegangan *breakover* V_{bo}.

4.2 SCR (*Silicon Control Rectifier*)

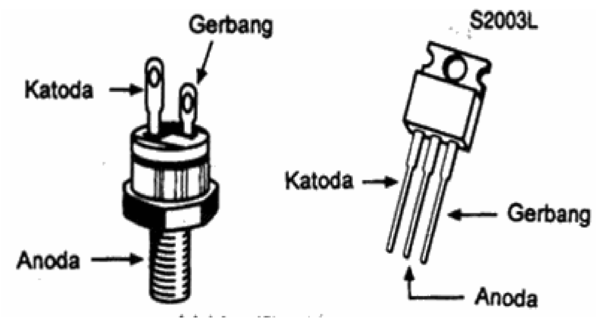


Gambar 3-4.4 Bentuk Fisik SCR

Untuk membuat *thyristor* menjadi *ON* adalah dengan memberi arus *trigger* lapisan P yang dekat dengan katoda. Yaitu dengan membuat kaki *gate* pada *thyristor* PNPN seperti pada gambar 3-4.5a. Karena letaknya yang dekat dengan katoda, bisa juga pin *gate* ini disebut pin *gate* katoda (*cathode gate*). Beginilah SCR dibuat dan simbol SCR digambarkan seperti gambar 3-4.5b. SCR dalam banyak literatur disebut *Thyristor* saja.



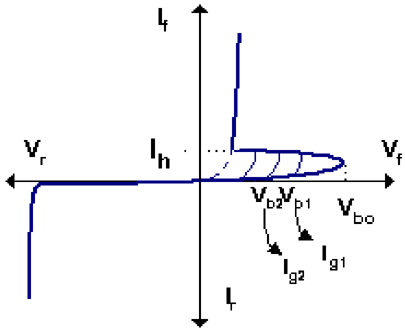
Gambar 3-4.5 Struktur SCR



Gambar 3-4.6 Kaki (pin) SCR

Melalui kaki (pin) *gate* tersebut memungkinkan komponen ini di *trigger* menjadi *ON*, yaitu dengan memberi arus *gate*. Ternyata dengan memberi arus *gate* $\mathbf{I_g}$yang semakin besar dapat menurunkan tegangan *breakover* ($\mathbf{V_{bo}}$) sebuah SCR. Dimana tegangan ini adalah tegangan minimum yang diperlukan SCR untuk menjadi *ON*.

Sampai pada suatu besar arus *gate* tertentu, ternyata akan sangat mudah membuat SCR menjadi *ON*. Bahkan dengan tegangan *forward* yang kecil sekalipun. Misalnya 1 volt saja atau lebih kecil lagi. Kurva tegangan dan arus dari sebuah SCR adalah seperti yang ditunjukan pada gambar 3-4.6 berikut ini.



Gambar 3-4.7 Karakteristik kurva I-V SCR

Pada gambar tertera tegangan *breakover* $\mathbf{V_{bo}}$, yang jika tegangan *forward* SCR mencapai titik ini, maka SCR akan *ON*. Lebih penting lagi adalah arus Ig yang dapat menyebabkan tegangan Vbo turun menjadi lebih kecil. Pada gambar ditunjukkan beberapa arus Ig dan korelasinya terhadap tegangan *breakover*. Pada *data sheet* SCR, arus *trigger gate* ini sering ditulis dengan notasi $\mathbf{I_{GT}}$ (*gate trigger current*). Pada gambar ada ditunjukkan juga arus $\mathbf{I_h}$ yaitu arus *holding* yang mempertahankan SCR tetap *ON*. Jadi agar SCR tetap *ON* maka arus *forward* dari anoda menuju katoda harus berada di atas parameter ini.

Bagaimana membuat SCR menjadi *ON*? Pada kenyataannya, sekali SCR mencapai keadaan *ON* maka selamanya akan *ON*, walaupun tegangan *gate* dilepas atau di *short* ke katoda. Satu-satunya cara untuk membuat SCR menjadi *OFF* adalah dengan membuat arus anoda-katoda turun dibawah arus I_h (*holding current*). Pada gambar 3-4.7 kurva I-V SCR, jika arus *forward* berada dibawah titik I_h, maka SCR kembali pada keadaan *OFF*. Berapa besar arus *holding* ini, umumnya ada di dalam *data sheet* SCR.

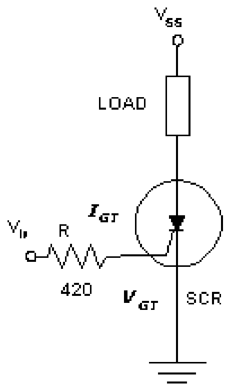
Cara membuat SCR menjadi *OFF* adalah sama saja dengan menurunkan tegangan anoda-katoda ke titik nol. Karena inilah SCR atau *thyristor* pada umumnya tidak cocok digunakan untuk aplikasi DC. Komponen ini lebih banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi tegangan AC

Ada satu parameter penting lain dari SCR, yaitu $\mathbf{V_{GT}}$. Parameter ini adalah tegangan *trigger* pada *gate* yang menyebabkan SCR *ON*. Kalau dilihat dari model *thyristor*

pada gambar-2, tegangan ini adalah tegangan $\mathbf{V_{be}}$ pada transistor Q2. V_{GT} seperti halnya V_{be}, besarnya kira-kira 0.7 volt. Seperti contoh rangkaian gambar-8 berikut ini sebuah SCR diketahui memiliki I_{GT} = 10 mA dan V_{GT} = 0.7 volt. Maka dapat dihitung tegangan V_{in} yang diperlukan agar SCR ini *ON* adalah sebesar :

$V_{in} = V_r + V_{GT}$

$V_{in} = I_{GT}(R) + V_{GT} = 4.9$ volt



Gambar 3-4.8 Rangkaian SCR

4.2.1 Spesifikasi SCR

Gate Trigger Current (I_{GT}) adalah arus *gate* yang digunakan untuk menghubungkan SCR ke dalam daerah hantaran maju, biasanya ditentukan dengan referensi sebuah spesifikasi dari nilai tegangan (V_{AK}) dan beberapa spesifikasi nilai tahanan beban.

Gate Triger Voltage (V_{GT}) adalah nilai tegangan antara *gate*-katoda yang dibutuhkan untuk menghubungkan SCR ke dalam daerah hantaran maju, biasanya ditentukan dengan referensi sebuah spesifikasi dari nilai tegangan antara anoda – katoda (V_{AK}) dan beberapa spesifikasi dari nilai tahanan beban dan tahanan antara *gate* – katoda (R_{GK})

Holding Current (I_H) adalah arus minimum yang mengalir dari anoda – katoda dibutuhkan untuk mempertahankan SCR ke dalam *forward conduction mode*. Jika arus *holding* jatuh di bawah batasnya alat akan beroperasi dalam *forward blocking mode*. Saat ini terjadi arus antara anoda – katoda akan jatuh menjadi nol. Umumnya *Holding Current* ditentukan dengan referensi dari spesifikasi nilai tegangan Anoda – katoda (V_{AK}) atau V_D dan beberapa nilai tahanan *gate* – katoda (R_{GK}).

Peak On- State Voltage / forward On Voltage (V_{TM}) adalah rugi tegangan antara anoda – katoda ketika alat dalam keadaan beroperasi penuh.V_{TM} (*voltage triggered maximum*) kadang-kadang terdafatar dalam lembaran data sebagai V_{FM} (*voltage forward maximum*)

Forward Current / On- State Current (I_T) . IT terbagi atas dua yaitu:
$IT_{(RMS)}$ merupakan arus AC maksimum, alat dapat menghantar dalam semua sudut hantaran.
$IT_{(AV)}$ merupakan arus DC maksimum ,alat dapat menghantar
Turn on Time (t_{gt}) dan *Turn off Time (t_q)* adalah waktu *tigger gate* (t_{gt}) dan waktu *off* (*tq/time quell*)

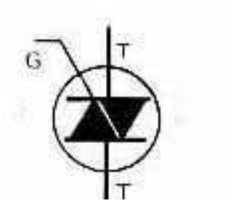
4.2.2 SCR Sebagai Saklar Statis

SCR dikarenakan sifatnya dapat digunakan sebagai saklar statis dengan kondisi ganda dan kerjanya mirip bagai suatu saklar atau suatu *relay*. Rangkaian saklar statis dapat dibagi menjadi dua katagori, yaitu rangkaian saklar ac dan rangkaian saklar dc. Rangkaian saklar ac, bekerja dengan sumber bolak-balik dan perioda (potensial) balik akan mengakibatkan kondisi SCR *off*. Frekuensi operasi maksimum suatu SCR dibatasi sekitar 30 kHz. Rangkaian saklar dc, bekerja dengan sumber searah (atau penyearah ac); kondisi *off* terjadi oleh salah satu metode komutasi.

4.3 Triac

Boleh dikatakan SCR adalah *thyristor* yang *uni-directional*, karena ketika *ON* hanya bisa melewatkan arus satu arah saja yaitu dari anoda menuju katoda. Struktur TRIAC sebenarnya adalah sama dengan dua buah SCR yang arahnya bolak-balik dan kedua *gate*-nya disatukan. Simbol TRIAC ditunjukkan pada gambar 3-4.9. TRIAC biasa juga disebut *thyristor bi-directional* artinya ketika *ON* bisa melewatkan dua arah yaitu anoda menuju katoda atau dari katoda menuju anoda.

*Lambang TRIAC di dalam skema elektronika, memiliki tiga kaki, dua diantaranya terminal **MT1 (T1)** dan **MT2 (T2)** dan lainnya terminal **Gate (G)***



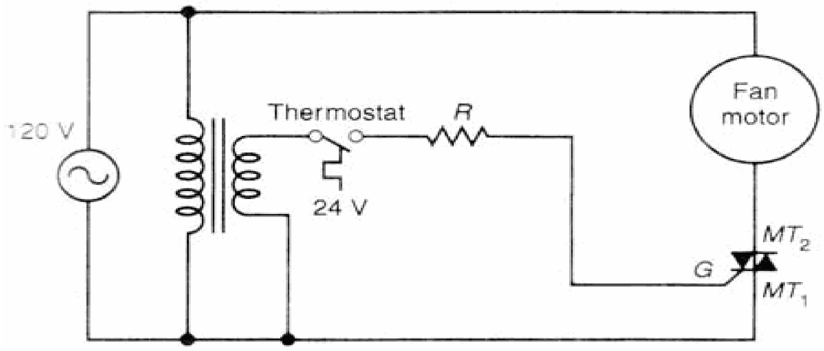
Gambar 3-4.9 struktur dalam pada TRIAC



Gambar 3-4.10 Macam-macam TRIAC

TRIAC bekerja mirip seperti SCR yang paralel bolak-balik, sehingga dapat melewatkan arus dua arah/Bolak-balik (AC).

Pada *data sheet* akan lebih detail diberikan besar parameter-parameter seperti **V_{bo}** dan **$-V_{bo}$**, lalu **I_{GT}** dan **$-I_{GT}$**, **I_h** serta **$-I_h$** dan sebagainya. Umumnya besar parameter ini simetris antara yang plus dan yang minus. Dalam perhitungan desain, bisa dianggap parameter ini simetris sehingga lebih mudah dihitung.



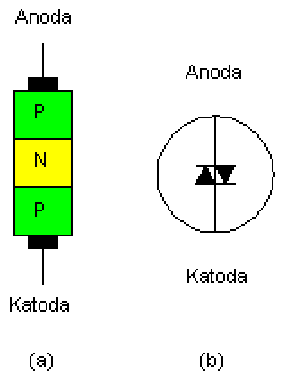
Gambar 3-4.11 Aplikasi triac pada rangkaian penghubungan arus pada motor

Satu aplikasi umum dari triac adalah penghubungan arus ac pada motor ac. Rangkaian penghubungan motor triac pada Gambar 3-4.11, menggambarkan

kemampuan triac untuk mengontrol jumlah arus beban yang besar dengan jumlah arus gerbang yang kecil. Aplikasi ini akan bekerja seperti *relay solid-state*. Transformator penurun tegangan 24 V digunakan untuk mengurangi tegangan pada rangkaian *thermostat*. Tahanan membatasi jumlah aliran arus pada rangkaian gerbang-MT_I ketika *thermostat* terhubung kontaknya untuk mengaktifkan triac dan motor bekerja (*ON)*. Ukuran kerja arus maksimum dari kontak *thermostat* jauh lebih rendah dibandingkan dengan arus kerja triac dan motor. Jika *thermostat* yang sama dihubungkan seri dengan motor untuk mengoperasikan motor secara langsung, kontak akan diputuskan dengan aliran arus yang lebih besar.

4.4 Diac

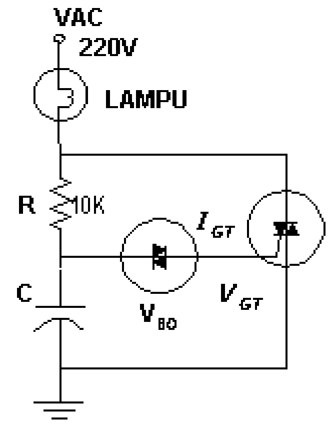
Kalau dilihat strukturnya seperti gambar 3-4.12a, DIAC bukanlah termasuk keluarga *thyristor*, namun prinsip kerjanya membuat ia digolongkan sebagai *thyristor*. DIAC dibuat dengan struktur PNP mirip seperti transistor. Lapisan N pada transistor dibuat sangat tipis sehingga elektron dengan mudah dapat menyeberang menembus lapisan ini. Sedangkan pada DIAC, lapisan N di buat cukup tebal sehingga elektron cukup sukar untuk menembusnya. Struktur DIAC yang demikian dapat juga dipandang sebagai dua buah dioda PN dan NP, sehingga dalam beberapa literatur DIAC digolongkan sebagai dioda.



Gambar 3-4.12 Struktur dan simbol DIAC

Hanya dengan tegangan *breakdown* tertentu barulah DIAC dapat menghantarkan arus. Arus yang dihantarkan tentu saja bisa bolak-balik dari anoda menuju katoda dan sebaliknya. Kurva karakteristik DIAC sama seperti TRIAC, tetapi yang hanya perlu diketahui adalah berapa tegangan *breakdown*-nya.

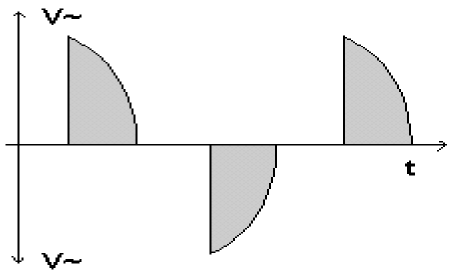
Simbol dari DIAC adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar3-4.12b. DIAC umumnya dipakai sebagai pemicu TRIAC agar *ON* pada tegangan input tertentu yang relatif tinggi. Contohnya adalah aplikasi *dimmer* lampu yang berikut pada gambar 3-4.13.



Gambar 3-4.13 Rangkaian *Dimmer*

Jika diketahui I_{GT} dari TRIAC pada rangkaian di atas 10 mA dan V_{GT} = 0.7 volt. Lalu diketahui juga yang digunakan adalah sebuah DIAC dengan V_{bo} = 20 V, maka dapat dihitung TRIAC akan *ON* pada tegangan :

$$\mathbf{V = I_{GT}(R)+V_{bo}+V_{GT} = 120.7\ V}$$



Gambar 3-4.14

Pada rangkaian *dimmer*, resistor R biasanya diganti dengan rangkaian seri resistor dan potensiometer. Di sini kapasitor C bersama rangkaian R digunakan untuk menggeser fasa tegangan V_{AC}. Lampu dapat diatur menyala redup dan terang, tergantung pada saat kapan TRIAC di picu.

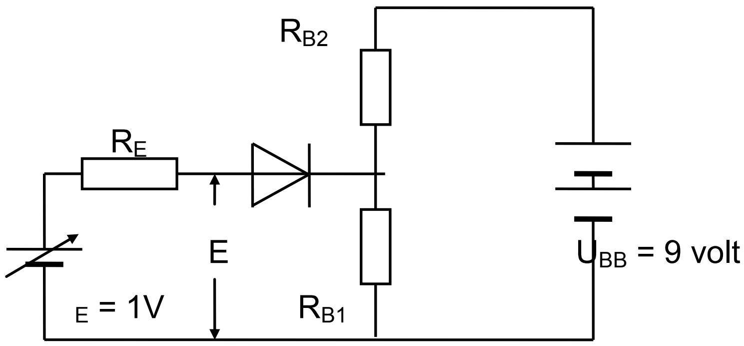
4.5 UJT (*Uni Junction Transistor*)

Uni junction Transistor disingkat UJT adalah piranti elektronik yang tidak mempunyai elektroda kolektor sebagaimana transistor bipolar ataupun dioda *rectifier*, dan sebagai penggantinya ditambahkan sebuah elektroda basis sehingga piranti ini mempunyai *dua buah basis* dan *sebuah emiter*. Nama lain untuk piranti ini adalah *Double Base Diode*.



Gambar 3-4.15 UJT a. Susunan UJT, b . Lambang skematik

Guna menjelaskan bagaimana suatu UJT bekerja, maka perhatikan gambar contoh berikut (gambar 3-4.16).



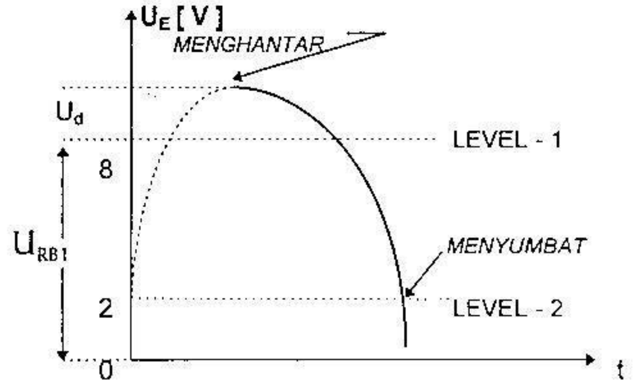
Gambar 3-4.16. Prinsip kerja UJT

Suatu UJT akan menghantar jika $U_E = U_p$ dan $I_E > I_p$.

Jika tegangan basis ke basis U_{BB} = 9 volt dan tegangan emitter U_E = 1 volt (variabel) serta $R_{B1} > R_{B2}$ dengan perbandingan 8 : 1, maka R_{B1} dan R_{B2} akan merupakan pembagi tegangan U_{BB} sehingga U_{RB1} = 8 volt dan U_{RB2} = 1 volt.

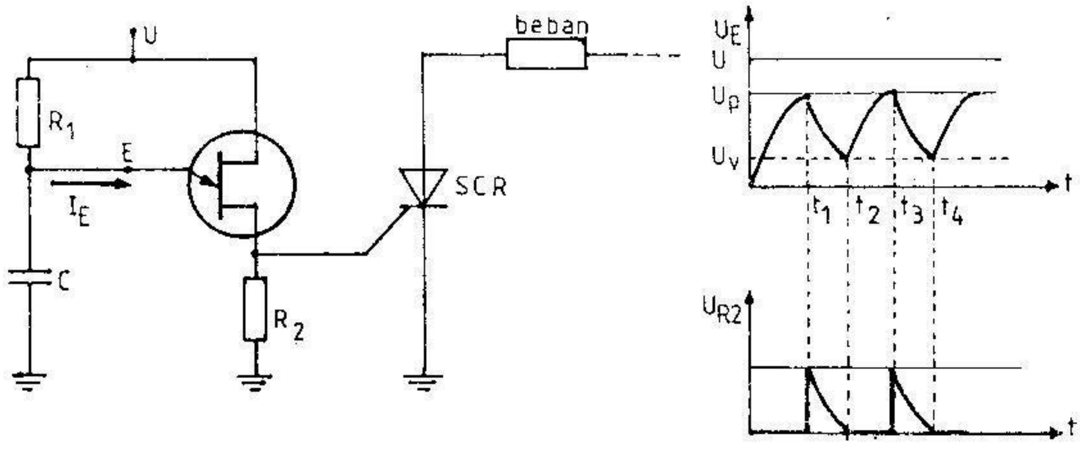
Karena tegangan anoda U_E lebih kecil dari U_{RB1}, maka dioda tidak akan menghantar.

Sekarang jika harga U_E dinaikkan sehingga melebihi tegangan U_{RB1}, dioda akan menghantar dan kejadian ini diikuti dengan penurunan tegangan U_{RB1} dikarenakan penurunan nilai resistansi R_{B1}, misalkan saja U_{RB1} sekarang sebesar 2 volt.
Jika U_E diturunkan hingga 2 volt, maka arus I_E tidak akan mengalir lagi dan harga R_{B1} akan naik kembali atau U_{RB1} juga ikut naik dan dioda akan menyumbat lagi.
Gambar 4.8 memperlihatkan tingkat kontak (*Switching Niveau*) suatu UJT.



Gambar 4.8. Switching Niveau UJT

Salah satu aplikasi UJT dalam rangkaian elektronik adalah sebagai osilator (pembangkit pulsa) guna menyulut piranti *thyristor*. Rangkaian ini dikenal sebagai *Relaxation Oscillator* yang dapat membangkitkan tiga macam bentuk pulsa.



Gambar 4.9. Rangkaian Relaxation Oscillator.

Tugas 3.10. Membandingkan saklar *Thyristor* dan saklar mekanik

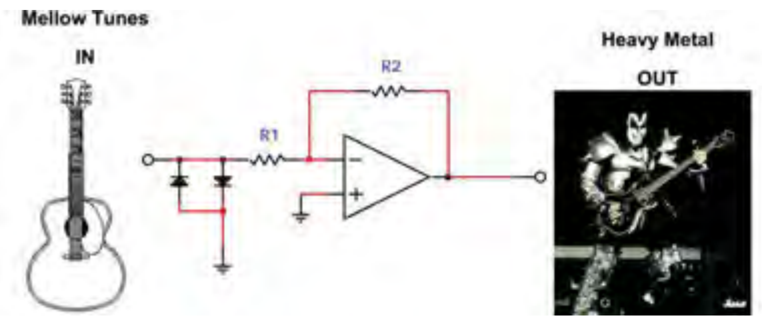
Setelah kalian mengamati,membaca dan mempelajari tentang komponen *thyristor*, coba kalian diskusikan bandingkan kelemahan dan kelebihan antara saklar *thyristor* dengan saklar elektro-mekanik?

5. *Operational Amplifier* (*Op-Amp)*

Pernahkah kalian mendengar kata *Operational Amplifier*? Mungkin yang sering kalian dengar adalah kata *Amplifier* yang artinya penguat sinyal.

Tugas 3.11 Menganalisa sinyal keluaran op-amp

Untuk lebih jelas coba kalian perhatikan gambar 3-5.1 berikan penjelasan tentang gambar tersebut, bagaimana sinyal *output* gitar akustik, setelah sinyal dari gitar tersebut melewati rangkaian penguat sinyal (OpAmp)?



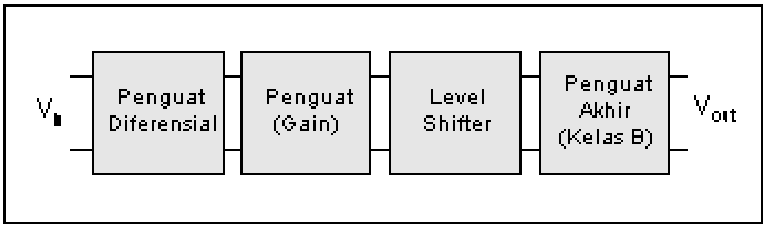
Gambar 3-5.1 Rangkaian OP-AMP

Setelah kalian memberikan jawabannya, sebenarnya ada beberapa manfaat rangkaian *operational amplifier* yang akan dijelaskan tidak hanya untuk penguat sinyal audio, tetapi dapat digunakan misalnya untuk mendesain sinyal level meter, histeresis pengatur suhu, osilator, pembangkit sinyal, penguat audio, penguat mic, filter aktif seperti tapis nada bass, *mixer*, konverter sinyal, integrator, *differensiator*, komparator dan sederet aplikasi lainnya, selalu pilihan yang mudah adalah dengan membolak-balik data komponen yang bernama Op-amp. Pada awalnya rangkaian penguat terdiri dari komponen transistor-transistor kemudian berkembang menjadi kemasan IC (*integrated circuits*) ini memang adalah komponen serbaguna dan dipakai pada banyak aplikasi hingga sekarang. Hanya dengan menambah beberapa resitor dan potensiometer.

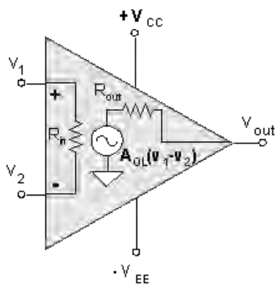
Op-amp adalah suatu rangkaian terintegrasi yang dibangun dari sejumlah komponen aktif maupun pasif. Dari generasi awal sampai sekarang op-amp melewati perbaikan demi perbaikan hingga mendapatkan suatu komponen dengan karakteristik yang diinginkan.

Op-amp dinamakan juga dengan penguat diferensial (*differential amplifier*). Sesuai dengan istilah ini, op-amp adalah komponen IC yang memiliki 2 *input* tegangan dan 1 *output* tegangan, dimana tegangan *output*-nya adalah proporsional terhadap perbedaan tegangan antara kedua *input*-nya itu. Penguat diferensial seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-5.2 merupakan rangkaian dasar dari sebuah op-amp.

Op-amp di dalamnya terdiri dari beberapa bagian, yang pertama adalah penguat diferensial, lalu ada tahap penguatan (*gain*), selanjutnya ada rangkaian penggeser *level* (*level shifter*) dan kemudian penguat akhir yang biasanya dibuat dengan penguat *push-pull* kelas B. Gambar 3-5.3 berikut menunjukkan skema diagram simbol dari op-amp.



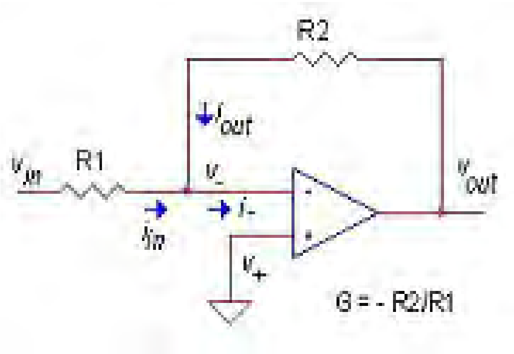
Gambar 3-5.2 Diagram blok Op-Amp



Gambar 3-5.3 Diagram schematic simbol Op-Amp

5.1 *Inverting amplifier*

Rangkaian dasar penguat *inverting* adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-5.4, dimana sinyal masukannya dibuat melalui *input inverting*. Seperti tersirat pada namanya, pembaca tentu sudah menduga bahwa fase keluaran dari penguat *inverting* ini akan selalu berbalikan dengan *input*-nya. Pada rangkaian ini, umpan balik negatif di bangun melalui resistor R2.



Gambar 3-5.4 penguat *inverter*

Input non-inverting pada rangkaian ini dihubungkan ke *ground*, atau $v_+ = 0$. Maka akan dipenuhi $v_- = v_+ = 0$. Karena nilainya = 0 namun tidak terhubung langsung ke *ground*, *input* op-amp v_- pada rangkaian ini dinamakan *virtual ground*. Dengan fakta ini, bahwa penguatan tegangan hanya bergantung dari nilai R2 dan R1,karena

$\frac{Vo}{R2} = -\frac{Vin}{R1}$ atau $\frac{Vo}{Vin} = -\frac{R2}{R1}$

Jika penguatan G didefinisikan sebagai perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka dapat ditulis $G = \frac{Vo}{Vin} = -\frac{R2}{R1}$

Impedansi rangkaian *inverting* didefenisikan sebagai impedansi *input* dari sinyal masukan terhadap *ground*. Karena *input inverting* (-) pada rangkaian ini diketahui adalah 0 (*virtual ground*) maka impendasi rangkaian ini tentu saja adalah $Z_{in} = R_1$.

Contoh 3.3

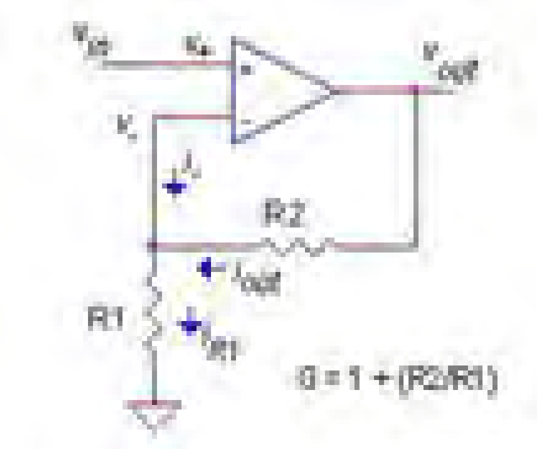
Hitunglah nilai R2 Jika R1 = 10Ω penguatan yang diinginkan 1000 kali

penguatan G = 1000 kali, bila R2 = 10 K dan R1 = 10 artinya ;

$$G = \frac{R2}{R1} = \frac{10000}{10} = 1000X$$

5.2 *Non-Inverting amplifier*

Prinsip utama rangkaian penguat *non-inverting* adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 3-5.5 berikut ini. Penguat ini memiliki masukan yang dibuat melalui *input non-inverting*. Dengan demikian tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan *input*-nya. Untuk menganalisa rangkaian penguat op-amp *non inverting*, caranya sama seperti menganalisa rangkaian *inverting*.



Gambar 3-5.5 penguat non-inverter

Tegangan positif Vi dihubungkan ke terminal masukan (+) Op-Amp, seperti halnya pada rangkaian *inverting* beda tegangan pada masukan (-) dan (+) adalah sama dengan 0 (nol), sehingga tegangan masukan sama dengan tegangan jatuh pada R1 dan tegangan keluaran akan sama dengan tegangan pada R1 ditambah dengan tegangan pada Rf. Untuk itu berlaku rumus hubungan antara masukan dan keluaran sebagai berikut:

Vi = I.R1

Vo = I(R1 +Rf)

$$Vo = \frac{R1 + Rf}{R1} Vi$$

Gain Op-Amp = $\frac{Vo}{Vi} = \frac{R1 + Rf}{R1} = 1 + \frac{Rf}{R1}$

Impendasi untuk rangkaian Op-amp *non-inverting* adalah impedansi dari *input non-inverting* op-amp tersebut. Dari data *sheet*, LM741 diketahui memiliki impedansi *input*

$Z_{in} = 10^8$ to 10^{12}Ohm.

Tabel-1 menunjukkan beberapa parameter op-amp yang penting beserta nilai idealnya dan juga contoh *real* dari parameter LM714.

Parameter	Symbol	Op-amp Ideal	LM741
Open loop voltage gain	A_{OL}	Infinite	100.000
Unity-gain frequency	f_{unity}	Infinite	1 MHz
Input resistance	R_{in}	Infinite	2 MΩ
Output resistance	R_{out}	0	75 Ω
Input bias current	$I_{in(bias)}$	0	80 nA
Input offset current	$I_{in(off)}$	0	20 nA
Input offset voltage	$V_{in(off)}$	0	2 mV
Slew rate	S_R	Infinite	0.5 V/µs
Common Mode Rejection Ratio	CMMR	Infinite	90 dB

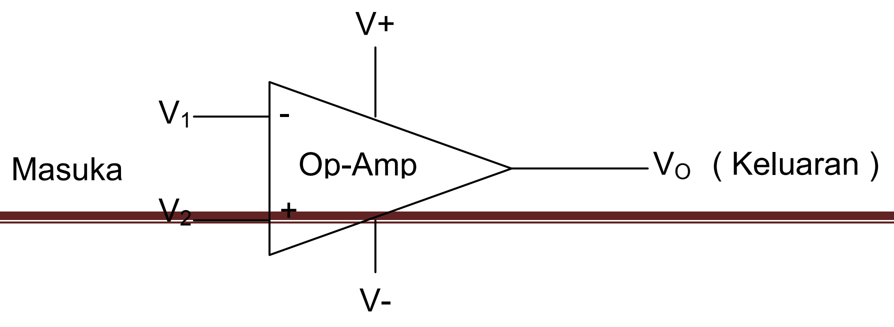
5.3 Penguat Diferensial

Penguat diferensial ialah rangkaian penguat sinyal yang berfungsi untuk memperkuat selisih antara dua sinyal *input*-nya.

Terdapat 2 macam sinyal masukan dalam penguat diferensial, yaitu:

- Sinyal *Common Mode* atau *Inphase*
- Sinyal *Differential Mode* atau *Antiphase*.

Berikut menggambarkan penguat diferensial dengan 2 masukan yaitu V_1 dan V_2, sedangkan Vo sebagai keluaran dari OpAmp.



Gambar 3-5.6 Penguat Diferensial

Dimana :

V_0 = A (V_2 - V_1)

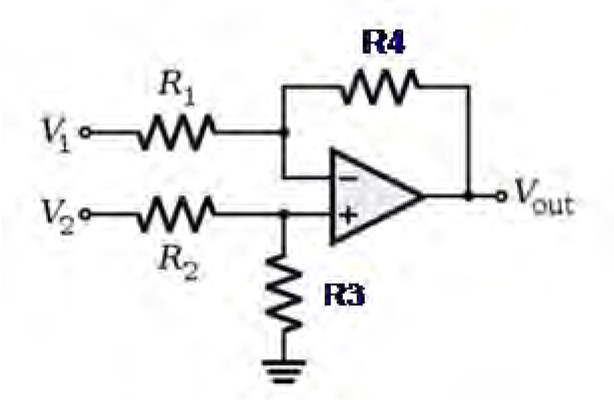
V_0 = Tegangan *Output* penguat

A = Penguatan penguat

V_1 = tegangan *input* 1

V_2 = tegangan *input* 2

Differential Amplifier sirkuit adalah rangkaian op - amp sangat berguna dan dengan menambahkan resistor lebih secara paralel dengan resistor R1 dan R2 masukan , sirkuit yang dihasilkan dapat dibuat untuk salah satu "Tambah" atau "Kurangi" tegangan diterapkan untuk tiap input.



Gambar 3-5.7 penguat differensial

$$\mathrm{Vo} = \left(\frac{R3}{R2+R3}.v_1.\frac{R4+R1}{R1}\right) - \left(\frac{R4}{R1}.V_2\right)$$

Jika R2 = R1 dan R3 = R4 maka persamaan menjadi

$$Vo = \left(\frac{R4}{R1 + R4}.v_1.\frac{R4 + R1}{R1} \right) - \left(\frac{R4}{R1}.V_2 \right)$$

$$Vo = \frac{R4}{R1} V1 - \left(\frac{R4}{R1}.V_2 \right)$$

$$Vo = \frac{R4}{R1}(V1 - V2)$$

Contoh 3.4

hitunglah V out dari penguat diferensial : jika rangkaiannya seperti pada gambar 7 dengan R1 = 2k, R2=5k, R3 = 5k , R4 = 10K dan V1 = 2mV,V2 =1mV

Jawab :

$$Vo = \left(\frac{R3}{R2 + R3}.v_1.\frac{R4 + R1}{R1} \right) - \left(\frac{R4}{R1}.V_2 \right)$$

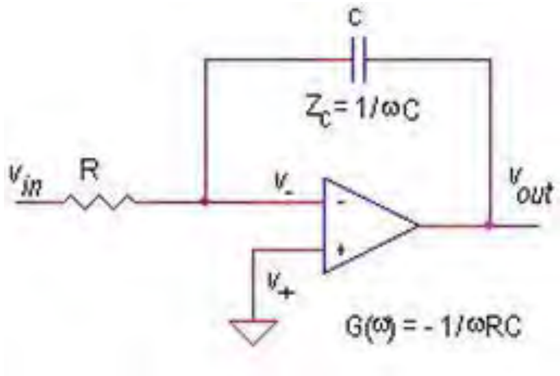
$$Vo = \left(\frac{5k}{5k + 5k}.2mV.\frac{10k + 2k}{2k} \right) - \left(\frac{10k}{2k}.1mV \right)$$

$$Vo = \left(\frac{5k}{5k + 5k}.2mV.\frac{10k + 2k}{2k} \right) - \left(\frac{10k}{2k}.1mV \right)$$

$$Vo = (6V - 5V) = 1V$$

5.4 Rangkaian Integrator

Op-amp bisa juga digunakan untuk membuat rangkaian-rangkaian dengan respons frekuensi, misalnya rangkaian penapis (*filter*). Salah satu contohnya adalah rangkaian integrator seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-5.8. Rangkaian dasar sebuah integrator adalah rangkaian op-amp *inverting*, hanya saja rangkaian umpan baliknya (*feedback*) bukan resistor melainkan menggunakan kapasitor C.



Gambar 3-5.8 integrator

Dengan dipasangnya kapasitor maka rangkaian merupakan *Open-loop gain*. Beda tegangan pada masukan Op-Amp, Vd yaitu antara (-) dan (+) adalah nol, jadi pada masukan *inverting* berpotensial nol (virtual zero) sehingga:

$I_1 = \frac{Vi}{R}$ dan Vo = Vc

Karena arus masuk ke *inverting* adalah nol, maka:

$I_1 + Ic = 0$ sehingga $I_1 = -Ic$

Untuk pengisian kapasitor berlaku:

$Q = \int Ic \, . \, dt$ dan $Q = C \, . \, Vc$

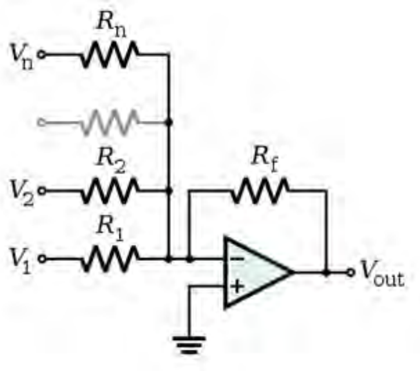
$$Vc = \frac{1}{C} \int Ic.dt$$

karena Vc = Vo dan Ic = - I_1 , maka besar tegangan *output* adalah :

$$Vo = -\frac{1}{R \, . \, C} \int Vi.dt$$

5.5 Rangkaian *Summing* (Penjumlah)

Rangkaian ini juga menerapkan *system feedback* negatip, masukan diumpankan pada masukan *inverting* Op-Amp dan masukan yang dipasangkan boleh lebih dari dua. Besar tegangan keluaran merupakan jumlah dari semua tegangan masukan yang dipasangkan dan tergantung pula dengan besar penguatannya.



Gambar 3-5.9 Rangkaian *Summing*

Jika dilihat dari gambar 3-5.9 di atas maka, dengan teori superposisi keluaran dari masing-masing masukan adalah :

$Vo_1 = -\frac{Rf}{R_1}.V_1$ dan $Vo_2 = -\frac{Rf}{R_2}.V_2$

Sedangkan tegangan keluaran merupakan jumlah dari keduanya, yaitu:

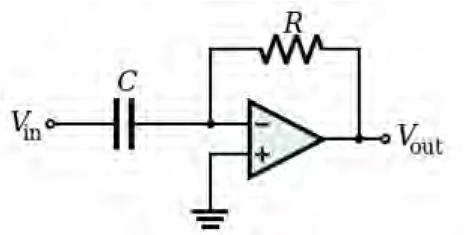
$Vo = Vo_1 + Vo_2$ atau $Vo = (-\frac{Rf}{R_1}.V_1) + (-\frac{Rf}{R_2}.V_2)$

Sehingga didapatkan rumus untuk n masukan adalah:

$$Vo = -Rf(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + ... \frac{V_n}{Rn})$$

5.6 .Rangkaian *Differentiator*

Differetiator adalah rangkaian dimana tegangan keluarannya mempunyai nilai proporsional terhadap perubahan rata-rata tegangan masukan. Rangkaian ini dapat mengubah tegangan dengan bentuk gelombang segitiga menjadi gelombang segiempat. Secara teori rangkaian listrik *Differentiator* digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3-5.10 *Differentiator*

$$V_{out} = -Rc\frac{dV_{in}}{dt}$$

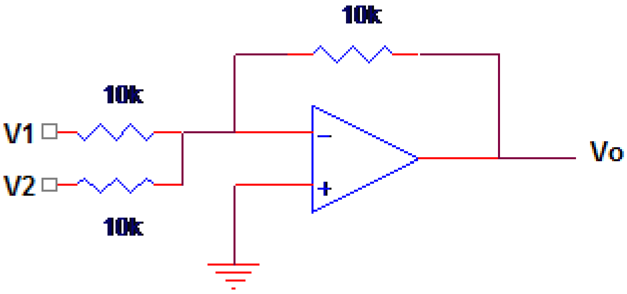
Rangkaian ini memiliki kelemahan dari segi pembebanan baik dari masukan maupun dari keluaran, karena resistansi dalam sumber tegangan dan resistansi beban akan mempengaruhi nilai RC sama seperti pada Integrator. Untuk mengatasi permasalahan tersebut digunakan sebuah Op-Amp, yang kita ketahui memiliki resistansi *input* sangat besar dan resistansi *output* yang sekecil-kecilnya.

B. Rangkuman

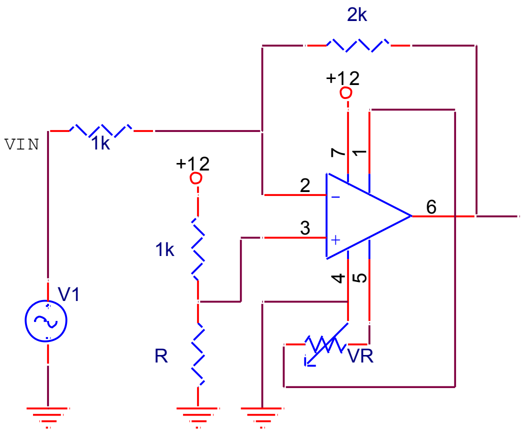
- Komponen dioda, transistor, *thyristor* dan *Operational amplifier* dibangun dari bahan semikonduktor
- Fungsi semikonduktor dalam elektronika daya adalah Pensaklaran *(switching)* Pengubah *(converting)*, dan Pengatur *(controlling)*
- *Thyristor* adalah Komponen semikonduktor dengan sedikitnya tiga sambungan (positif-Negatif)PN yang berfungsi sebagai saklar.
- *Thyristor* digunakan pada elektronika daya untuk mengontrol kecepatan dan frekuensi, penyearah dan pengubahan daya.
- *Triac adalah thyristor bi-directional* bekerja mirip seperti SCR dapat digunakan pada arus bolak-balik.
- *DIAC* dibuat dengan struktur PNP mirip seperti transistor umumnya dipakai sebagai pemicu TRIAC
- Rangkaian *Operational Amplifier* digunakan sebagai rangkaian penguat.

C. Tugas Mandiri

Hitunglah tegangan keluaran dari penguat penjumlah jika rangkaiannya seperti pada gambar. V_1 = 2V dan V_2 = 3V

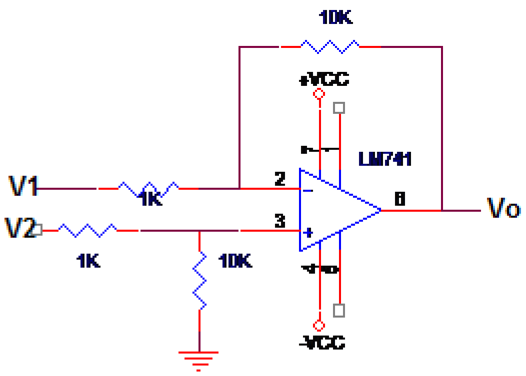


Hitunglah tegangan keluaran dari penguat dengan catu daya tunggal jika R = 1k Ω ,V1= 4V pada rangkaian seperti gambar di bawah ini.

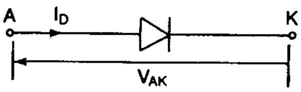
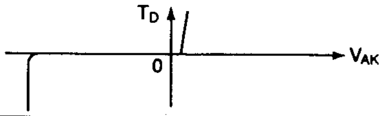
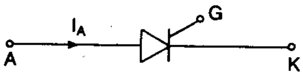
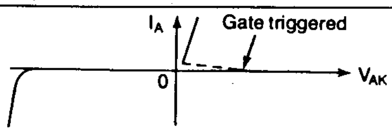
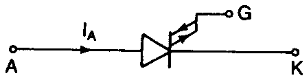
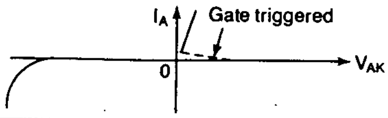
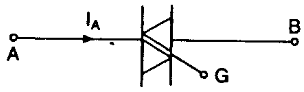
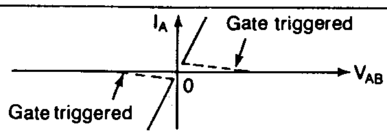
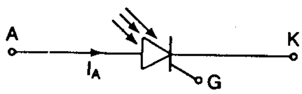
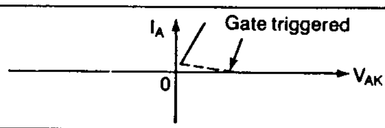
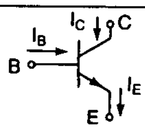
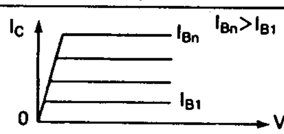
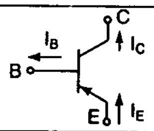
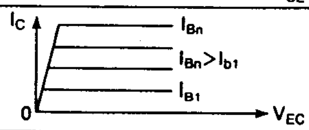
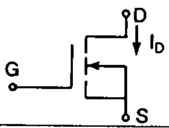
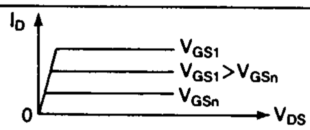
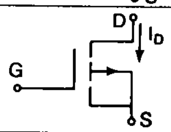
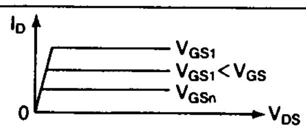


Hitunglah V *out* dari penguat diferensial jika rangkaiannya seperti gambar di bawah ini :

V1 = 2mV dan V2 =1mV.



Karakteristik dan Simbol Semikonduktor Daya

Devices	Symbols	Characteristics
Diode		
Thyristor		
GTO		
TRIAC		
LASCR		
NPN BJT		
PNP BJT		
N-Channel MOSFET		
P-Channel MOSFET		

C. Tugas Praktek

1. JUDUL : Rangkaian Dioda
2. TUJUAN :

Dapat menggambarkan karakteristik listrik dioda arah maju dan mundur,

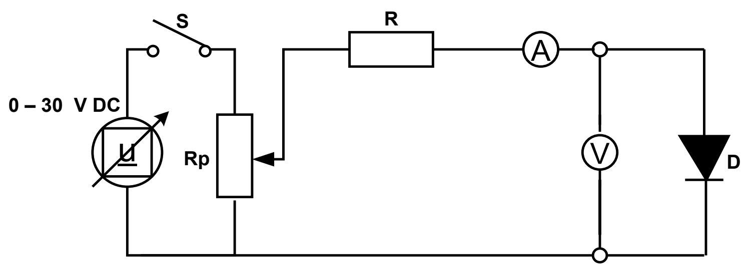
Dapat membuktikan sifat-sifat dioda secara umum.

3.PERALATAN DAN BAHAN

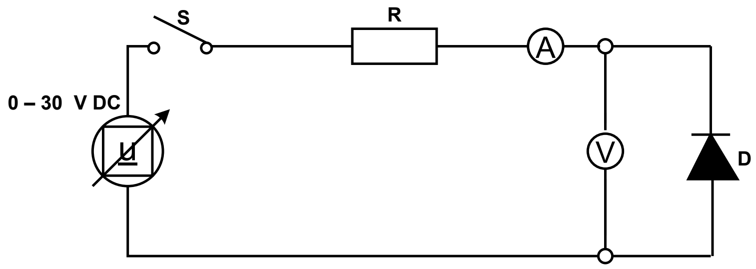
- 1 buah Regulated DC Power Supply 0 –20 volt
- 1 buah mA meter dc,
- 1 buah μA meter dc,
- 1 buah Saklar ON-OFF
- 1 buah V meter dc
- 1 buah Proto Board Trainer
- 1 buah Multimeter
- 1 buah Potensiometer linear 1 kΩ
- 1 buah Dioda Rectifier 1N4005
- 1 buah Resistor = 100 Ω/ 1 W
- Kabel secukupnya.

4.RANGKAIAN PERCOBAAN

1. **Arah Maju**



2. **Arah Mundur**



b. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen

3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!

c. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.PROSEDUR PRAKTIKUM

LANGKAH KERJA - 1

1. Buat rangkaian seperti gambar (Arah Maju) di atas, dimana semua posisi saklar pada posisi OFF,
   catatan *: Pengukur arus adalah mA-meter*
2. Periksakan rangkaian tersebut kepada guru sebelum mulai percobaan.
3. Nyalakan Power Supply dan atur tegangan sebesar 1 volt,
4. Posisikan mA meter pada batas ukur 100 mA,
5. Posisikan V meter pada batas ukur 1 volt,
6. Hidupkan saklar (ON),
7. Atur tegangan melalui potensiometer secara bertahap setiap 0,1 volt,
8. Amati kedua meter dan catat hasil penunjukkannya pada tabel - 1 yang disediakan.
9. Hentikan percobaan jika pembacaan meter sulit dibaca !

TABEL – 1

U (volt)	I (mA)	R (ohm)
0		
0,1		
0,2		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		
1,0		

R = U / I

LANGKAH KERJA - 2

1. Buat rangkaian seperti gambar (Arah Mundur), posisi saklar pada posisi OFF.
   Catatan : *Pengukur arus adalah μA-meter*
2. Periksa kebenaran rangkaian pada instruktur anda,
3. Hidupkan saklar dan atur tegangan dari nol, kemudian naikkan bertahap setiap 2 volt dan amati penunjukkan μA-meter,
4. Masukkan hasil pengamatan anda pada Tabel –2 di bawah,
5. Hentikan percobaan, jika batas tegangan Power Supply telah mencapai 20 volt.

Catatan : *Untuk percobaan ke 2 ini batas ukur μA meter diatur pada batas terendah, sedangkan batas ukur V meter hingga diatas 20 volt.*

TABEL – 2

U (volt)	I (μA)	R (ohm)
0		
2		
4		
6		
8		
10		
12		
14		
16		
18		
20		

Langkah Kerja 3 Membuat grafik dari hasil praktikum

Buat gambar karakteristik dioda arah maju dan mundur dari data tabel 1 dan 2 hasil pengukuran anda pada pola di bawah ini dengan skala :

a. Untuk arah maju 5 mm ≅ 0,1 volt dan 5 mm ≅ 10 mA.
b. Untuk arah mundur 20 mm ≅ 2 volt dan 5 mm ≅ 1 μA.

❑ Langkah Kerja 3 Menganalisa grafik

❑

1. Berapa titik konduk dioda yang anda amati ?

   U_d = ± ………… volt
2. Berapa titik Breakdown-nya ?

   U_{bd} = ± …………...volt
3. Mengapa rangkaian percobaan 1 dan 2 dibedakan atas posisi alat ukurnya ?
   ………………………………………………………………………….
   ………………………………………………………………………….
4. Kenapa pada rangkaian percobaan – 2 tidak digunakan hambatan R ?
   ………………………………………………………………………….
   ………………………………………………………………………….
   ………………………………………………………………………….

7. KESIMPULAN

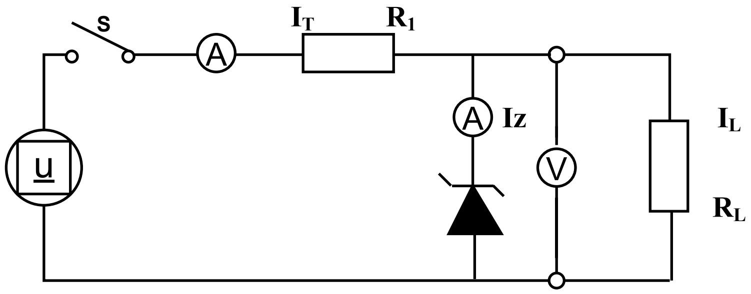
1.**JUDUL**: Rangkaian Dioda Zener

2. TUJUAN : Dapat membuktikan dioda zener sebagai penstabil tegangan

3. PERALATAN DAN BAHAN

- R_1 = 100 ohm
- R_L = 500 – 3000 ohm (variativ)
- Z = 1N 4744 / 60 mA atau yang sejenis
- U_s = 0-20 volt dc variable
- A = mA meter dc
- V = volt meter dc
- Kabel secukupnya

4. RANGKAIAN PERCOBAAN



5. KESELAMATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

6. PROSEDUR PRAKTIKUM

A. 1. Tegangan sumber berubah, beban tetap

2. Tetapkan R_L = 1000 ohm
3. Naikkan tegangan U_s hingga I_z = 5 mA

4. Ukur dan catat hasil pengamatan anda untuk besaran U_{AB}, I_T dan U_s
5. Atur I_z sesuai tabel A dan catat setiap penunjukkan alat ukur pada tabel A yang tersedia.

B. Variasi beban R_L

1. Atur I_z = 5 mA dengan R_L = 500 ohm , ukur dan catat penunjukkan meter.
2. Ubah R_L dari 500 ohm sampai 3000 ohm secara bertahap tanpa mengubah nilai U_s.
3. Pada setiap perubahan R_L tersebut perhatikan penunjukkan alat ukur dan catat hasil pengamatan anda pada tabel B yang tersedia

- TABEL PENGUKURAN

TABEL A R_L = 1000 ohm

U_{AB}	I_z	I_L	I_T	U_S
	5			
	10			
	15			
	20			
	25			
	30			
	40			
	50			
	60			

TABEL B

R_L	I_z	I_T	U_{AB}	U_S
500				
1000				
1500				
2000				
2500				
3000				

6. **KESIMPULAN**

1. JUDUL: Dioda sebagai penyearah tegangan

2. TUJUAN :Dapat membuktikan dioda sebagai penyearah tegangan

3.PERALATAN DAN BAHAN

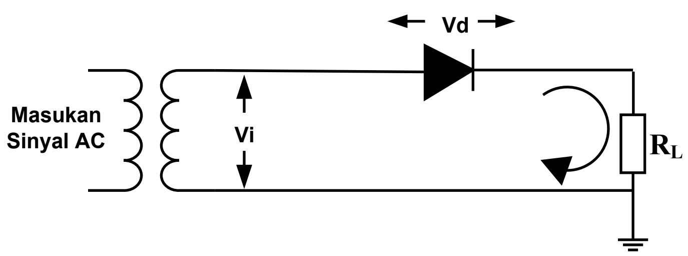
- 1 buah Multimeter
- 1 buah Osiloskop
- 4 buah Dioda IN 4002
- 1 buah Trafo step down
- 1 buah Resistor 1 KΩ

4. KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm keposisi Vac

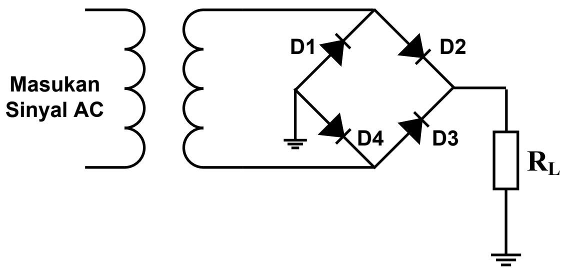
5. PROSEDUR PRAKTIKUM

1. Buatlah rangkaian penyearah setengah gelombang seperti Gambar dibawah ini



2. Setelah dinilai benar hubungkan dengan sumber tegangan AC 220 Volt.
3. Amatilah tegangan skuder trafo dengan CRO dan catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel 2.

4. Lakukanlah pengamatan pada simpul pengukuran yang ada serta catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel 2!
5. Percobaan tentang penyearahan setengah gelombang telah selesai maka lepaskanlah semua rangkaian.
6. Buatlah rangkaian penyearah gelombang penuh sistem jembatan seperti Gambar dibawah ini



7. Ulangi langkah-langkah 3-5.
8. Percobaan tentang penyearah gelombang penuh telah selesai maka lepaskanlah semua rangkaian.

Tabel 2. Penyearahan Gelombang

Penyearahan	Komponen yang diamati	V1 (Volt) (1-0)	V2 (Volt) (2-0)	Hasil Keluaran CRO
Penyearahan ½ Gelombang	Transformator			
	Beban Resistor			
Penyearahan Geleombang Penuh	Transformator			

6. KESIMPULAN

1. JUDUL : Pengenalan dan Pengujian Transistor

2. **TUJUAN : -** Menentukan ketiga terminal pada kaki-kaki transistor.
- Mengetahui jenis transistor BJT dari susunan atau konstruksinya.

3. PERALATAN DAN BAHAN :

- 2 buah Sumber tegangan DC 0-30 VDC/ 3A
- 1 buah resistor 100Ω
- 1 buah resistor 820Ω
- 1 buah potensiometer 25KΩ/2W
- 2 buah switch SPST
- 1 buah transistor 2N 3904
- 1 buah transistor 2N 2222A
- 1 buah transistor BD 139
- 1 buah DC Milkroamperemeter
- 1 buh DC Milliamperemeter
- 1 buah Multimeter

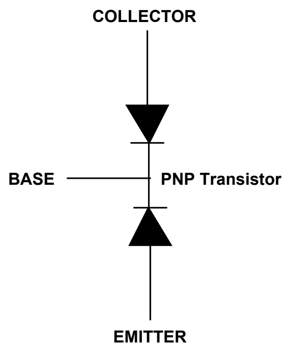
4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

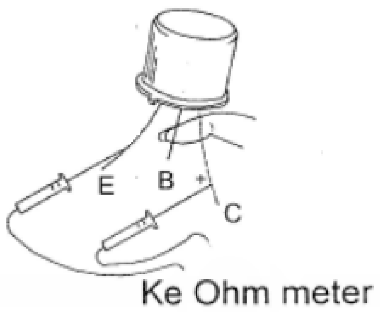
5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Gambar bentuk transistor yang akan diuji dengan membei nomor pada ketiga kakinya. (cara ini tidak direkomendasikan untuk transistor daya rendah).

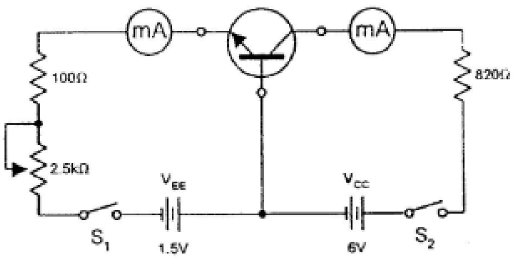
2. Tentukan kaki basis dengan cara mengangap transistor terdiri dari dua diode seperti gambar berikut (perlu diketahui bahwa probe merah pada ohm meter berpolaritas (-) dan hitam positif (+).



3. Jika probe merah pada basis , transistor adalan PNP, demikian sebaliknya jika probe hitam pada basis, maka transistor tersebut adalah NPN.
4. Untuk menentukan kaki C dan E coba perhatikan gambar dibawah ini, lakukan langkah-langkah berikut:
   a. Hubungkan ohm meter pada (range 10X) pada kedua kaki yang belum teridentifikasi.
   b. Sentuhkan jari pada kaki basis, catat penyimpangan jarum ohm meter.
   c. Penyimpangan : ....Ω
   d. Tukar posisi prone pada kedua kaki tadi
   e. Lakukan langkah b dan c.
   f. Dari kedua data penyimpangan diatas, jika transistor NPN,maka kaki yang terhubung dengan probe hitam dsn menunjukkan penyimpangan terbesar (nilai hambatan rendah) adalah KOLEKTOR. Untuk PNP adalah kebalikannya.



5. Buat rangkaian seperti gambar dibawah ini dengan transistor 2N3904, set kedua catu daya berturut-turut 1,5 V dan 6 volt



6. (ON berarti s1 dan s2 ditutup, off berarti s1 dan s2 terbuka).
7. Set potensimeter pada posisi maksimum (bias minimum). Ukur I_E dan I_C pada tabel berikut ini

Keadaan	**I_C (mA)**	**I_E(mA)**	**V_{EB} (V)**	**V_{CB} (V)**
R2 maksimum				
R2 Minimum				
VEE reversed				
I_{CBO} :...........µA				

8. Ukur juga V_{EB} dan V_{CB} dengan DMM, sesuaikan polaritasnya
9. Set potensiometer pada posisi minimun (maksimum bias) dan ulangi langkah 6 dan 7.
10. Matikan catu daya, balik polaritas V_{EE} dan meter (m1).
11. Hidupkan catu daya. Putar potensiometer (0Ω - range maksimum). Cata Ic (jika ada)
12. Ukur V_{EE} dan V_{CB}
13. Pengukuran I_{CBO}, Gantilah M_2 (meter2) dengan DC microamperemeter.
14. Gunakan range 50µA.
15. Buka S1. Ukur dan catat Ic pada tabel diatas. (jika Ic belum terukur, turunkan range M_2)/ Nilai Ic ini adalah I_{CBO} dari transistor.
16. Matikan catu daya
17. Lakukan percobaan diatas untuk transistor 2N222A dan BD 139.

6. **KESIMPULAN**

1. **JUDUL : Rangkaian Transistor sebagai saklar**
2. **TUJUAN :** Dapat membuktikan transistor sebagai saklar
3. **PERALATAN DAN BAHAN**

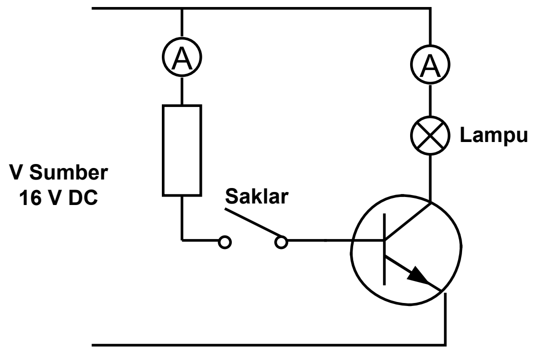
- 1 buah Catu daya 16 V AC
- 1 buah Osiloskop dua kanal (*dual trace*)
- 1 buah Ampermeter
- 1 buah Multimeter
- 1 buah Transistor BC 547
- 1 buah Resistor 200 Ω 2 A
- Kabel penghubung secukupnya

4. **KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA:**

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. **PROSEDUR PRAKTIKUM**

1. Periksalah dan uji transistor dan resistor dengan Ohmmeter sebelum digunakan !
2. Rakitlah rangkaian transistor sebagai sakelar seperti pada Gambar diagram di bawah ini !



3. Setelah rangkaian diperiksa secara cermat dan tidak ada kesalahan pada rangkaian, hubungkanlah saklar dan catu daya !
4. Aturlah tegangan dari generator fungsi hingga tegangan keluaran adalah 2 Vpp dan frekuensi = 5 KHz !
5. Ukurlah besaran arus kolektor dan arus basis, catatlah hasil pengukuran tersebut ke Tabel 3!
6. Amatilah pada layar *osciloscope* bentuk gelombang kotak dari FG dan ukurlah tegangan kolektor-emitor saat sakelar terbuka dan catatlahlah data tersebut kedalam Tabel 3!
7. Gambarkanlah bentuk kedua gelombang tersebut !
8. Lakukanlah langkah-langkah percobaan tersebut di atas dengan menaikkan tegangan keluaran generator fungsi hingga 4 Vpp !
9. Selesai percobaan, kembalikanlah alat dan bahan ke tempatnya semula!

Tabel 3. Pengaturan Tegangan

Posisi Saklar	Kondisi yang diamati	A_1 (ampere)	A_2 (ampere)	kondisi lampu
Saklar Tertutup	Tegangan keluaran 2 Vpp			
	Tegangan keluaran 4 Vpp			
Saklar Terbuka	Tegangan keluaran 2 Vpp			
	Tegangan keluaran 4 Vpp			

6.Kesimpulan

1. JUDUL : Junction Field Effect Transistor (JFET)

1. **TUJUAN :** Menganalisa operasi dasar JFET

2. PERALATAN DAN BAHAN :

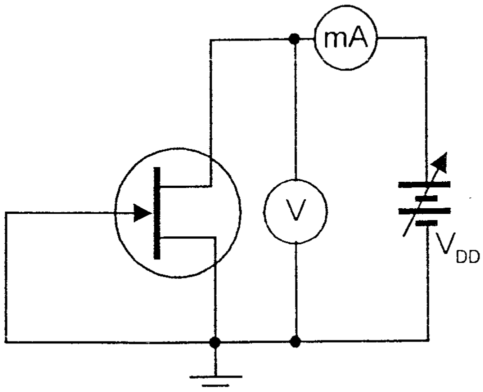
- 1 buah Sumber tegangan DC 0-30 VDC/ 3A
- 1 buah JFET 2KS30A/2KS3112
- 1 buah DC Milliamperemeter
- 1 buah Multimeter

3. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

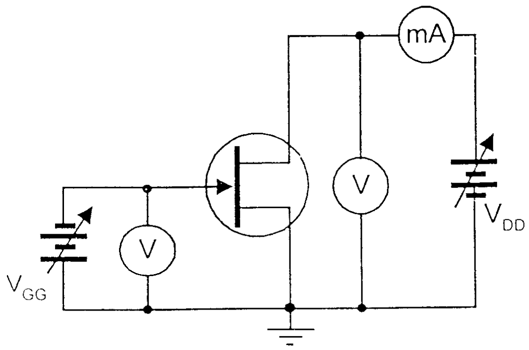
1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

4. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan rangkaian seperti gambar dibawah ini, dengan catu daya dalam keadaan mati (*off*),Pastikan catu daya mempunyai rangkaian pengaman terhadap hubung singkat.



2. Hidupkan catu daya
3. Atur VDS pada 0 Volt, ukur I_D.
4. Cata hasil pengukuran pada tabel
5. Atur VDS pada 0,5 Volt, dan ukur I_D
6. Catat hasil pengukuran pada tabel
7. Ulangi langkah 5 dan 6 untuk masing-masing nilai pada tabel
8. Mengamati karakteristik pada VGS > 0, Hubungkan rangkaian seperti pada gambar dibawah ini, dengan keadaan catu daya off.



9. Atur catu daya pada 0 Volt
10. Hidupkan catu daya.
11. Ulangi langkah 5 dngan VGS pada -0,25 volt.
12. Catat hasil pengukuran pada tabel
13. Ulangi langkah 12 untuk VGS seperti pada tabel.
14. Gambarkan kurva karakteristik keluaran dari data dari tabel.

Tabel

V_{DS}(V)	I_D(mA)									
	V_{GS} (V)									
	0	-0.25	-0.50	-0.75	-1.0	-1.25	-1.50	-1.75	-2.0	-2.25
0										
0.5										
1.0										
1.5										
2.0										

2.5										
3.0										
3.5										
4.0										
4.5										
5.0										
7.0										
9.0										
11.0										
13.0										
15.0										

5. **KESIMPULAN**

1. **JUDUL : SCR 1**

2. **TUJUAN :** - Menentukan ketiga terminal pada kaki-kaki SCR
- Mengetahui pengaruh arus GATE terhadap tegangan turn-on SCR

3. PERALATAN DAN BAHAN :

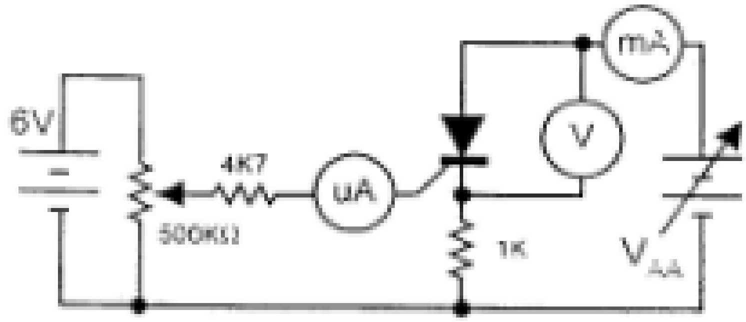
- 2 buah Sumber tegangan DC 0-30 VDC/ 3A
- 1 buah SCR BR 106 D
- 1 buah resistor 4,7 KΩ
- 1 buah potensiometer 500KΩ/2W
- 1 buah Mikroamperemeter DC
- 1 buah Multimeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. **PROSEDUR** Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PRAKTIKUM :

1. Atur catu daya, VS= 6 V, V_{AA} pada posisi minimum kemudian matikan, pastikan kedua catu daya mempunyai rangkaian pengaman terhadap hubung singkat (beban berlebih).
2. Atur range multi meter pada DC voltmeter
3. Buat rangkaian seperti gambar dibawah ini!



4. Hidupkan kedua catu daya.
5. Atur tegangan V_{AA} sebagaimana tabel dibawah ini.
6. Naikkan arus GATE mulai dari nol dengan memutar potensiometer hingga SCR turn-on,catat harga I_G pada tabel

TOV (V)	I_G (μA)	I_G (μA)	I_G (μA)	I_G (μA)	Rata-rata I_G (μA)
2.5					
5					
7.5					
10					
12.5					
15					
20					
25					
30					

6. Ulangi langkah 6 untuk setiap harga V_{AA} yang sama sebanyak 4 kali.
7. Lakukan kembali langkah 6 dan 7 untuk setiap harga V_{AA}
8. Bagaimakah pengaruh I_G terhadap TOV

6. **KESIMPULAN**

1. JUDUL : SCR(Silicon Controlled Rectifier) 2

2. TUJUAN : Mengidentifikasi metoda switching *ON* suatu SCR dan kemudian switching *OFF* melalui komutasi alamiah.

3. PERALATAN DAN BAHAN

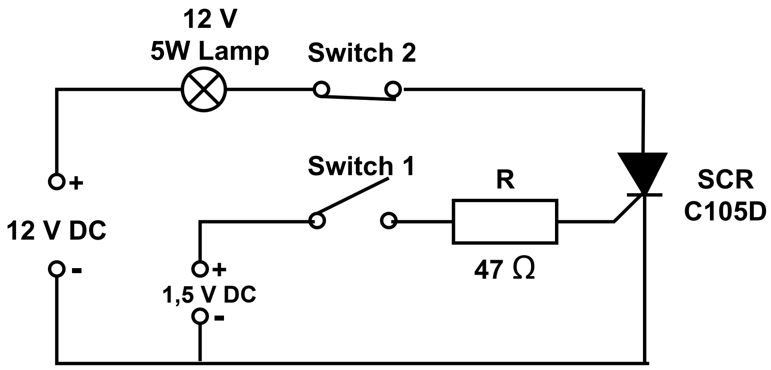
- 1 buah SCR C106
- Sumber daya DC variable 0-12 volt
- 1 buah Batere kering 1.5 volt
- 1 buah Resistor 47Ω/0.5 W
- 1 buah Lampu 5W/12 volt
- 1 buah Proto Board
- 1 buah Saklar NC
- 1 buah Saklar NO
- Kabel penyambung
- Multitester (analog/digital)

4. KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA:

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.PROSEDUR PRAKTIKUM

Perhatikan gambar di bawah ini dan jawab pertanyaan berikut!



1. Hubungkan rangkaian seperti gambar diatas.
2. Atur tegangan sumber 12 volt (perhatikan polaritas!)
3. Hubungkan sumber ke rangkaian.

   Apakah lampu menyala ? ☐ Ya ☐ Tidak
4. Hubungkan V-meter pada kaki Anoda dan Kathoda, catat penunjukan tegangan :

   …………………………… volt

5.Tutup saklar SW1 dan catat tegangan anoda-kathoda :

   ………………………. volt

   Apakah lampu menyala ? ☐ Ya ☐ Tidak

6. Buka saklar SW1 dan catat tegangan anoda-kathoda :

   ………………………. volt Apakah lampu menyala ?

   ☐ Ya ☐ Tidak
7. Buka saklar SW2 dan catat tegangan anoda-kathoda :

   ………………………. volt

   Apakah lampu menyala ? ☐ Ya ☐ Tidak
8. Tutup saklar SW2 dan catat tegangan anoda-kathoda :

   ………………………. volt

   Apakah lampu menyala ? ☐ Ya ☐ Tidak
9. Balikkan polaritas sumber !

   Apakah lampu menyala ? ☐ Ya ☐ Tidak
10. Hubungkan V-meter dengan anoda-kathoda, catat tegangannya :

    ………………………. volt
11. Tutup saklar SW1 dan catat tegangan anoda-kathoda :

    ………………………. volt

    Apakah lampu menyala ? ☐ Ya ☐ Tidak
12. Buka saklar SW1 dan catat tegangan anoda-kathoda :

……………………….. volt

Apakah lampu menyala ? ☐ Ya ☐ Tidak

12. Periksakan hasil pengamatan anda pada instruktur/guru
13. Kembalikan peralatan dan bahan pada tempat semula !

6.KESIMPULAN

1. JUDUL : DIAC

2. **TUJUAN :** - Menganalisa karakteristik statik DIAC
- Mengetahui pengaruh arus *GATE* terhadap tegangan *turn-on* DIAC

3. PERALATAN DAN BAHAN :

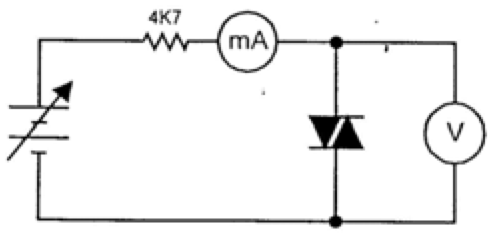
- 1 buah Sumber tegangan DC 0-30 VDC/ 3A
- 1 buah DIAC BR 100
- 1 buah resistor 4,7 KΩ
- 1 buah Mikroamperemeter DC
- 1 buah Multimeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Atur tegangan power supply pada posisi minimum dan alat ukur pada posisi maksimum.
2. Buat rangkaian seperti gambar dibawah ini!



6. Atur power supply sesuai dengan nilai-nilai pada tabel.
7. Untuk setiap nilai tegangan,cata arus yang melewati DIAC pada tabel.
8. Turunkan power supply sampai posisi minimum dan matikan.

V (V)	I (μA)
5	
10	
15	
20	
25	
26	
27	
29	
30	
31	
31.5	
31.7	
31.9	
32	
28.5	
27	
26.5	
26	
25.5	
25	

9. Balikkan posisi terminal DIAC
10. Ulangi langkah 3 sampai dengan 5 catat hasilnya pada tabel.

V (V)	I (μA)

5	
10	
15	
20	
25	
26	
27	
29	
30	
31	
31.5	
31.7	
31.9	
32	
28.5	
27	
26.5	
26	
25.5	
25	

11. Buat grafik karakteristik dari data yang diperoleh pada kertas milimeter blok.
12. Dari kurva yang diperoleh tentukan tegangan dan arus *breakover*nya.

13. **KESIMPULAN**

1. JUDUL : TRIAC

2. **TUJUAN :** - Menganalisa karakteristik statik TRIAC
- Mengetahui pengaruh arus *GATE* terhadap tegangan *turn-on* TRIAC

3. PERALATAN DAN BAHAN :

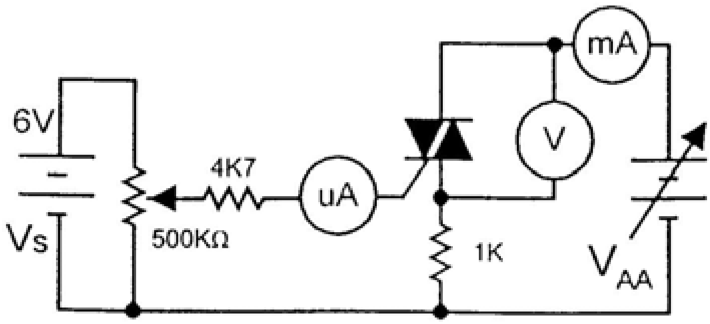
- 2 buah Sumber tegangan DC 0-30 VDC/ 3A
- 1 buah TRIAC BT 137
- 1 buah resistor 4,7 KΩ
- 1 buah Potensiometer 500KΩ/ 2W
- 1 buah DC Milliamperemeter
- 1 buah Multimeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Set multimeter pada range DC voltmeter, amperemeter pada range maksimum.
2. Hidupkan catu daya, atur Vs = 6 V, dan V_{AA} pada posisi minimum, matikan catu daya.
3. Pastikan kedua daya memiliki rangkaian pengaman hubung singkat.
4. Buat rangkaian seperti gambar dibawah ini!



5. Atur V_{AA} sehingga sesuai dengan T_{OV} pada tabel dibawah ini!

T_{OV} (V)	I_G (μA)
5	
10	
15	
20	
25	
30	

6. Naikkan arus gate dengan memutar potensiometer secara perlahan-lahan hingga tegangan pada M_{T1} – M_{T2} jatuh (dilihat pada voltmeter). Catat nilai arus gate tepat saat tegangan M_{T1} – M_{T2} jatuh.
7. Ulangi langkah 5 dan 6 untuk masing-masing T_{OV}
8. Hubungkan M_{T2} pada (+) dan M_{T1} pada (-).
9. Ulangi langkah 5,6 dan 7 dab cata pada tabel dibawah ini!

T_{OV} (V)	I_G (μA)
-5	
-10	

-15	
-20	
-25	
-30	

10. Buat grafik T_{OV} – I_G pada kertas milimeter blok.

6. **KESIMPULAN**

1.**JUDUL** : TRIAC

2. **TUJUAN** : Mengamati kondisi-kondisi switching dari triac baik saat menghantar ataupun saat mati kembali.

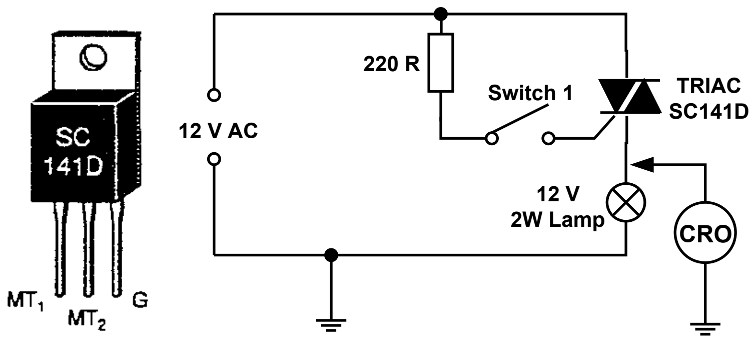
3. PERALATAN DAN BAHAN

- Lampu 12 volt/2W
- Resistor 220 Ω
- Saklar tunggal
- Triac SC 141D
- Sumber AC 12 volt
- Osiloscope
- Voltmeter
- Ammeter
- Digital Multitester

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA:

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, jika diperlukan!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.GAMBAR RANGKAIAN



6.PROSEDUR PRAKTIKUM

A. *Kondisi SW1 Off*

1. Yakinkan bahwa saklar SW1 dalam kondisi Off.
2. Sambungkan osiloscop pada terminal lampu
3. Sambungkan tegangan 12 volt pada rangkaian
4. Gambarkan tayangan layar osiloscop pada patron berikut

5. Ukur tegangan pada triac dengan digital meter :
   ……………….. volt

6. Ukur tegangan pada lampu dengan digital meter :
   ……………………. Volt
7. Apakah lampu menyala ?

   ☐ ya

   ☐ tidak

B. *Kondisi saklar SW1 tertutup*

8. Tutup saklar SW1 dan gunakan digital meter untuk mengukur tegangan triac :
   ……………………………

9. Dengan menggunakan digital meter, ukur tegangan lampu :
   ……………………………

10. Apakah lampu menyala ?

   ☐ ya
   ☐ tidak

11. Gambarkan tayangan layar osiloscop pada patron berikut :

C. *Buka saklar SW1*

12. Buka saklar SW1 dan gunakan digital meter untuk mengukur tegangan pada triac
…………………….

13. Gunakan digital meter, ukur tegangan pada lampu :
…………………….

14. Apakah lampu menyala ?

☐ Ya
☐ Tidak

15. Gambarkan bentuk tayangan layar pada patron berikut :

6. Kesimpulan

1. **JUDUL** : UJT

2. **TUJUAN** : Mengamati dan mengidentifikasi piranti UJT serta menentukan besaran-besarannya.

3. PERALATAN DAN BAHAN

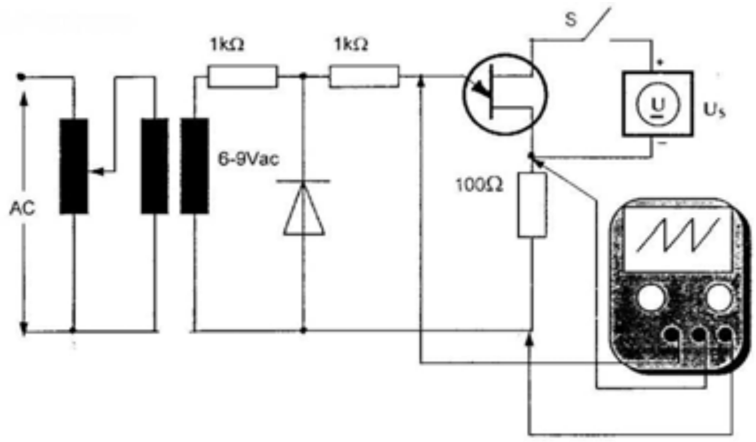
- UJT type 2N2646
- Dioda 1N4002
- Resistor 1 kΩ/0.5W
- Auto Transformator
- Trafo isolasi
- Sumber DC
- Multitester
- Osciloscope

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA:

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, jika diperlukan!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5.GAMBAR RANGKAIAN

:



5.PROSEDUR PRAKTIKUM

A. Memeriksa UJT dengan Multitester

- *Tentukan kaki/elektroda UJT*
- *Periksa kondisi UJT dengan berpedoman 0.51<η < 0.81*

a. Apakah kondisi UJT masih baik ? ☐ *Ya* ☐ *Tidak*

b.Kira-kira berapa nilai η ?

η = ………………

B. Buat rangkaian percobaan seperti gambar percobaan !

- *Posisi Time/div pada x position*
- *Pilih Amplitudo/div. Yang sesuai*
- *Tentukan Ubb = 7.5 volt konstan dengan mengatur tegangan dc power supply,*
- *Atur Us naik perlahan dengan mengatur tegangan Autotrafo (tegangan catu emiter),*

  Catatan : *Pengaturan ini hingga UJT menghantar, yaitu saat terbentuk tampilan karakteristik UJT tersebut.*

- *Dari grafik karakteristik, tentukan harga-harga :*

  Ip = …………….. *Up = ……………….*

  Iv = ……………... *Uv = ……………….*

- *Matikan saklar dan atur Us = 0 volt.*
- *Ulangi percobaan anda seperti di atas untuk harga Ubb konstan :*

  10 volt ; 12.5 volt ; 15.0 volt dan 20 volt.

C. Selidiki pengaruh panas terhadap karakteristik UJT dengan mendekatkan kepala solder ke case UJT.

………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………

D. Buat kesimpulan dari pengamatan anda.

1.**JUDUL : Operational Amplifier**

2.TUJUAN : - Mempelajari Operational Amplifier sederhana
- Mengoperasikan Op-Amp sebagai penguat inverting

3. PERALATAN DAN BAHAN :

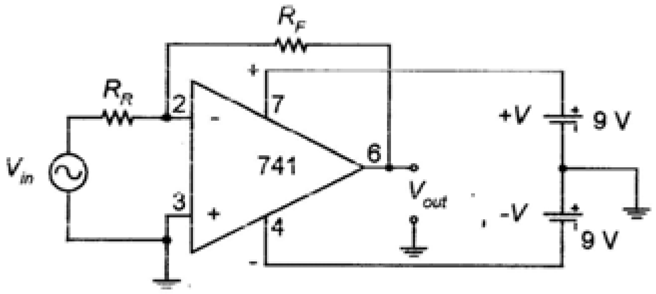
- 1 buah Sumber tegangan Variabel Regulated DC
- 1 buah Generator sinyal
- IC Op Amp 741
- 2 buah Resistor 10 kΩ
- 1 buah Resistor 5 kΩ, 3,333 Ω,2500Ω,20 KΩ, dan 30 KΩ
- 1 buah Osciloscope
- 1 buah Multimeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Pelajari rangkaian gambar di bawah ini, susunlah rangkaian dengan harga tahanan di R_F dan R_R = 10 KΩ.



2. Tanpa memasang power supply terlebih dahulu, atur tiap tegangan power supply 9 V. Atur generator sinyal sinus dengan frekuensi 1000 Hz dengan output level nol. Hubungkan osiloskop ke output Op Amp.

RFΩ	RRΩ	VPP		Gain (Vout/Vin)	Fasa
		Output	Input		
10 KΩ	10.000				
	5000				
	3.333				
	2.500				
	20.000				
	30.000				

3. Hubungkan power supply, secara bertahap naikkan output sinyal generator sedikit di bawah dimana sinyal mulai terdistorsi. Ukur dan catat pada tabel di atas, sinyal tegangan output peak to peak. Ini adalah sinyal output maksimum yang tidak terdistorsi untuk resistor umpan balik (RF) pada rangkaian tersebut.
4. Dengan osiloscop ukur dan cata pada sinyal input Vin penguat (output generator).
5. Hitung dan catat penguatan tersebut (Vout/ Vin)
6. Bandingkan fasa sinyal input dan output. Indikasikan apakah mempunyai fasa yang sama atau berbeda fasa 180^0
7. Ubah output generator menjadi nol.
8. Ulangi langkah 3 sampai dengan 7 untuk tiap niali R_R pada tabel diatas.

6. KESIMPULAN

1. JUDUL : Operational Amplifier

2. **TUJUAN : -** Mempelajari Operational Amplifier sederhana

- Mengoperasikan Op-Amp sebagai penguat Non Inverting

3. PERALATAN DAN BAHAN :

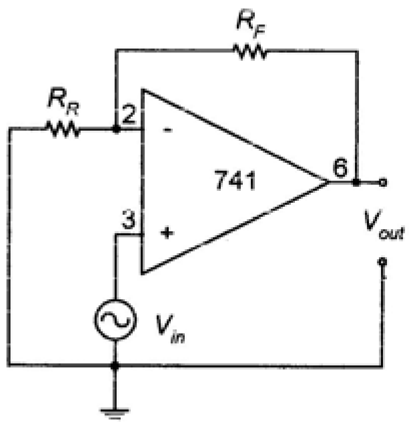
- 1 buah Sumber tegangan Variabel Regulated DC
- 1 buah Generator sinyal
- 2 buah Resistor 10 KΩ
- 1 buah Resistor 5 KΩ, 3,333 Ω,2500Ω,20 KΩ, dan 30 KΩ
- 1 buah Osciloscope
- 1 buah Multimeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Pelajari rangkaian gambar di bawah ini, susunlah rangkaian dengan harga tahanan di R_F dan R_R = 10 KΩ.



2. Atur generator sinyal sinus dengan frekuensi 1000 Hz dengan output level nol. Hubungkan osiloskop ke output Op Amp.
3. Hubungkan power supply. Untuk tiap R_F dan R_R. Lengkapi data pada tabel dibawah ini

R_FΩ	R_RΩ	$V_{P\text{-}P}$		Gain (Vout/Vin)	Fasa
		Output	Input		
10 KΩ	10.000				
	5000				
	3.333				
	2.500				
	20.000				
	30.000				

4. Hubungkan power supply, secara bertahap naikkan output sinyal generator sedikit di bawah dimana sinyal mulai terdistorsi. Ukur dan catat pada tabel di atas, sinyal tegangan output peak to peak. Ini adalah sinyal output maksimum yang tidak terdistorsi untuk resistor umpan balik (RF) pada rangkaian tersebut.
5. Dengan osiloscop ukur dan cata pada sinyal input Vin penguat (output generator).
6. Hitung dan catat penguatan tersebut (Vout/ Vin)

7. Bandingkan fasa sinyal input dan output. Indikasikan apakah mempunyai fasa yang sama atau berbeda fasa 180^0
8. Ubah output generator menjadi nol.
9. Ulangi langkah 3 sampai dengan 7 untuk tiap niali R_R pada tabel diatas.

6. KESIMPULAN

1. JUDUL : Operational Amplifier sebaga penjumlah (Summing Amplifier)

2. **TUJUAN : -** Mempelajari Operational Amplifier sederhana

- Mengoperasikan Op-Amp sebagai penguat penjumlah (Summing)

3. PERALATAN DAN BAHAN :

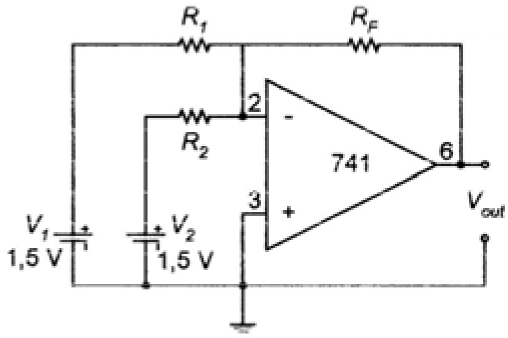
- 1 buah Sumber tegangan Variabel Regulated DC
- 1 buah Generator sinyal
- 2 buah Resistor 10 KΩ
- 1 buah Osciloscope
- 1 buah Multimeter

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
4. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya,jika menggunakan osciloscope!
5. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
6. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Pelajari rangkaian gambar di bawah ini, susunlah rangkaian dengan harga tahanan di R_F dan $R_1 = R_2 = 10$ KΩ.



2. Hubungkan power supply dan V2. Input V1 belum terhubung.Ukur dan catat pada tabel untuk V1 dan Vout.
3. Hubungkan V2, lepaskan V1. Ulangi langkah 2.
4. Balik polaritas V1, Ukur dan cata pada table di bawah untuk Vin da Vout.
5. Modifikasi rangkain penjumlah diatas, sehingga kedua input 1,5 V , Vout = -4,5 V. Catat semua niali resistor dan polaritas V1 dan V2.Ukur tegangan output dan catat pada tabel.
6. Modifikasi rangkain penjumlah diatas, sehingga kedua input 1,5 V , Vout = +1,5 V. Catat semua niali resistor dan polaritas V1 dan V2.Ukur tegangan output dan catat pada tabel.

Kondisi		**Polaritas Input**		**Vin, V**		**Vout, V**
Input 1	**Input 2**	**V1**	**V2**	**V1**	**V2**	
ON	**OFF**	**+**	**X**		**X**	
OFF	**ON**	**X**	**+**	**X**		
ON	**ON**	**+**	**+**			
ON	**ON**	**_**	**+**			

6. KESIMPULAN

1.**JUDUL** : Rangkaian Operational Amplifier

2. **TUJUAN** : Mengamati kondisi-kondisi rangkaian Inverting (pembalik) Operational amplifier.

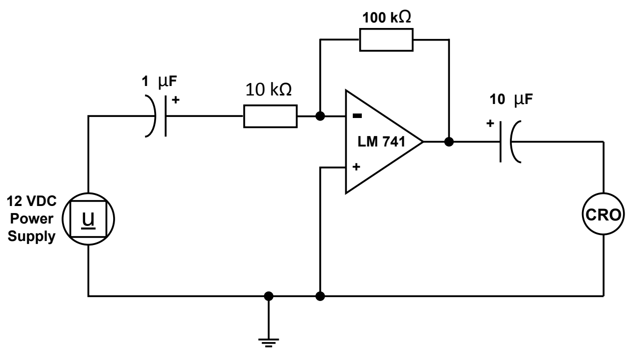
3. PERALATAN DAN BAHAN :

- 1 buah Osciloscope
- 1 buah Multimeter
- 1 buah Catu daya 12 Volt
- 1 buah Pembangkit sinyal
- 1 buah IC LM 741
- 1 buah Resistor 10 k Ohm, 100 k Ohm
- 1 buah Kapasitor 1 μF, 10 μF
- Kabel penghubung secukupnya

4. KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

1. Pastikan tegangan keluaran catu daya sesuai yang dibutuhkan!
2. Dalam menyusun rangkaian, perhatikan letak kaki-kaki komponen
3. Sebelum catu daya dihidupkan, hubungi guru untuk mengecek kebenaran pemasangan rangkaian!
2. Kalibrasi osciloscope, dan atur kontras secukupnya!
3. Dalam menggunakan multimeter, mulailah dari batas ukur yang besar. Bila simpangan terlalu kecil dan masih di bawah batas ukur yang lebih rendah, turunkan batas ukur!
4. Segera kembalikan saklar pemilih alat ukur Multimeter dari posisi Ohm ke posisi Vac setelah melakukan pengukuran dengan besaran Ohmmeter.

5.PROSEDUR PRAKTIKUM



1. Susunlah rangkaian seperti pada Gambar di atas!

2. Sambunglah kaki 4 IC ke tanah, dan kaki 7 ke positif 12 volt, lalu hidupkan catu daya!
3. Sambunglah masukan dan keluaran dari rangkaian dengan masukan *oscilloscope* dan sambunglah pula *ground* rangkaian dengan *ground oscilloscope*!
4. Sambunglah masukan rangkaian ke keluaran pembangkit sinyal!
5. Aturlah pembangkit sinyal pada jenis gelombang sinus dengan frekuensi 1 k Hz! Besarkan pelan-pelan amplitudo keluaran pembangkit sinyal sampai keluaran penguat (teramati pada *oscilloscope*) maksimum dan belum cacat!
6. Ukur dan catatlah tegangan puncak $V_{keluaran}$ dengan oscilloscope! Ukur dan catat pula tegangan puncak $V_{masukan}$!

   $V_{masukan}$ = …… V

   $V_{keluaran}$ = …… V

   Penguatan tegangan = $V_{keluaran}$ / $V_{masukan}$ = ……

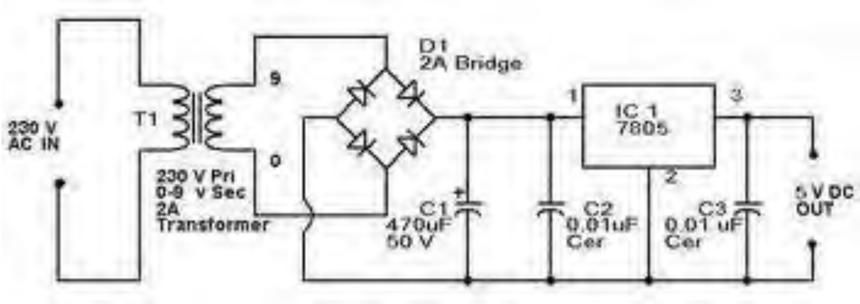
7. Buatlah kesim[pulan dari hasil percobaan tersebut

E. Proyek

Proyek 1

Pada Proyek 1 ini, kalian diharapkan dapat membuat power supply 5 VDC,dapat dikerjakan secara individu ataupun kelompok dengan mengikuti gambar rangkaian di bawah ini.





Selesaikan Proyek tersebut dengan prosedur pekerjaan sebagai berikut:

1. Persiapan
    - Menyiapkan alat dan bahan
2. Proses (Sistematika & Cara Kerja)
    - Membuat lay out sesuai dengan soal penugasan
    - Memasang komponen sesuai lay out yang telah dibuat
    - Melakukan penyolderan sesuai dengan lay out yang telah dibuat
    - Melakukan pengukuran rangkaian dengan menggunakan AVO meter
3. Hasil Kerja/Unjuk Kerja
    - Melakukan uji coba rangkaian
4. Sikap Kerja
    - Penggunaan alat sesuai dengan fungsinya

Proyek 2

Rangkaian Lampu Tidur /lampu baca yang dapat diatur (*Dimmer Lamp*)

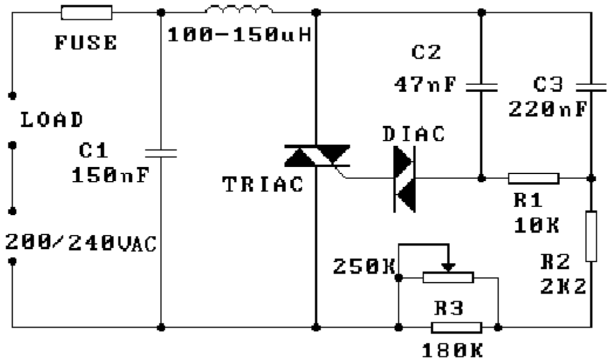
Lampu dimer biasa digunakan untuk lampu belajar/lampu baca atau dimodifikasi menjadi lampu taman dan lampu tidur. Karena rangkaian ini menggunakan arus tengan tinggi, HATI-HATI dalam penanganannya.

Load = Lampu pijar

Triac 2N6075 atau BT136-500D = 1

Diac HT-32 = 1

Choke Coil 100uH = 1



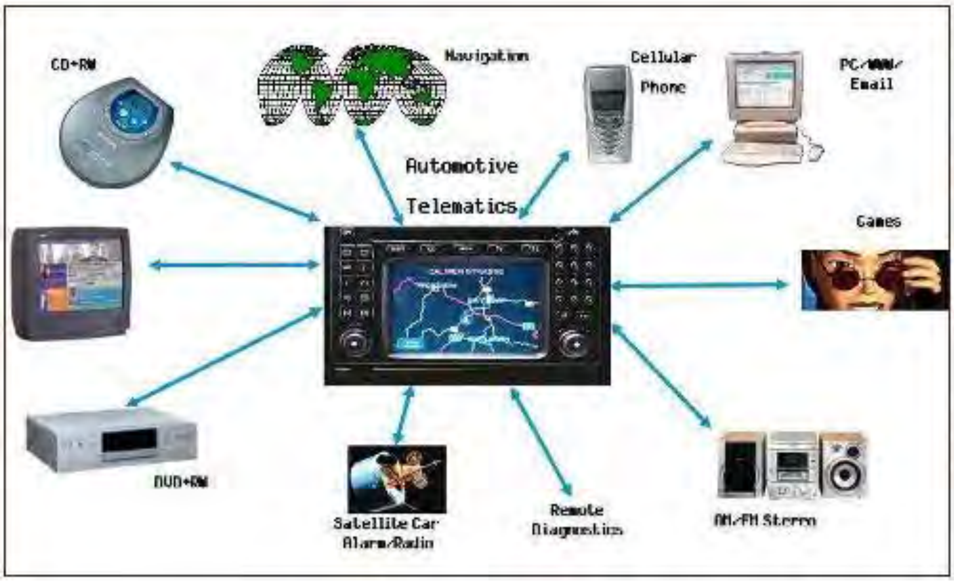
Selesaikan Proyek tersebut dengan prosedur pekerjaan sebagai berikut:

1. Persiapan
   - Menyiapkan alat dan bahan
2. Proses (Sistematika & Cara Kerja)
   - Membuat lay out sesuai dengan soal penugasan
   - Memasang komponen sesuai lay out yang telah dibuat
   - Melakukan penyolderan sesuai dengan lay out yang telah dibuat
   - Melakukan pengukuran rangkaian dengan menggunakan AVO meter
3. Hasil Kerja/Unjuk Kerja
   - Melakukan uji coba rangkaian
4. Sikap Kerja
   - Penggunaan alat sesuai dengan fungsinya

Kegiatan Belajar 4: Menguraikan Rangkaian Digital

A. Uraian Materi

1. Pengenalan Digital



Gambar 4 -1. 1 Pemanfaatan Teknologi Digital

Dari gambar di atas, adakah kehidupan di dunia saat ini yang terlepas dari teknologi digital? jawabannya pasti Teknologi digital sudah sangat mempengaruhi kehidupan kita. Segala bentuk aktivitas, kita lewatkan dengan memanfaatkan teknologi digital. Berkembangnya teknologi digital seiring dengan perkembangan diri kita; mulai dari pengembangan diri, perkembangan gaya hidup, perkembangan pendidikan, perkembangan sosial, dan lain sebagainya. Saat ini teknologi digital masuk ke semua sendi kehidupan manusia, dari mulai kegiatan di rumah, di industri, perkantoran, militer, kendaraan sampai dengan di rumah sakit, semua sudah menggunakan peralatan berteknologi digital.

Tugas 4.1. Peralatan Berteknologi Digital

Coba kalian identifikasi minimal 3 peralatan berteknologi digital yang dipakai di :

a. Rumah
b. Kantor
c. Militer

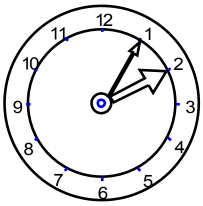
d. Rumah Sakit
e. Industri



Gambar 4-1.2 Peralatan Analog dan Digital

Kita sering mendengar singkatan kata **D** dan **E** seperti *Digital Television, Dab, DVD, Digital Camera, e-card, e-commerce, e-learning*, dll. Apakah itu ? atau mungkin pernah mendengar singkatan **A** dari kata Analog?. Untuk itu pada kegiatan pembelajaran ini akan dibahas pengenalan digital dan analog.
Pernahkah kalian berpikir, mengapa menggunakan istilah digital? Ternyata istilah "digital" berasal dari bahasa latin "*digitus*" yang berarti "jari" atau "bilangan". Karena sebelumnya orang menggunakan jari untuk menghitung, maka istilah "digital" berhubungan dengan bilangan atau angka.

Sebelum teknologi digital berkembang dengan pesat menggunakan sinyal digital, teknologi sebelumnya menggunakan sinyal analog. Bagaimanakah perbedaan besaran analog dan digital? sebagai gambaran sementara kita dapat melihat jam sebagai alat ukur waktu dimana tampilannya ditentukan oleh jarum penunjuk yang gerakannya selalu berubah secara kontinyu, jam seperti ini dapat disebut jam analog. Sedangkan jam digital penunjukkan perubahan jam nya sudah menunjukkan angka bilangan berupa angka desimal.



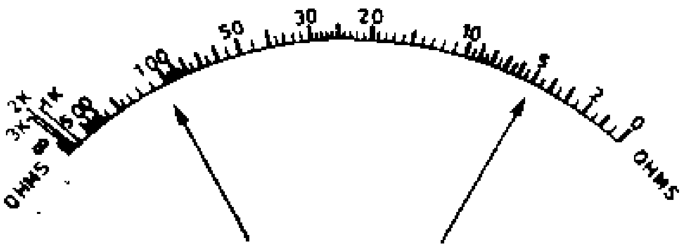
Gambar 4-1.3 Jam Analog



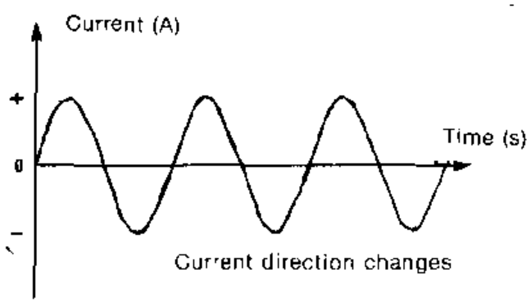
Gambar 4-1.4 Jam Digital

Untuk menyatakan besaran analog kita membutuhkan besaran persamaan (analogi), misal pada hitungan analog menunjukan bilangan 1 maka pada besaran tegangan menyatakan 1 volt, untuk bilangan 2 menyatakan tegangan 2 volt, untuk bilangan 4 menyatakan tegangan 4 volt dan untuk bilangan 15,75 menyatakan 15,75 volt dan seterusnya.

Pada contoh di atas antara besar bilangan dan besar tegangan yang dinyatakan adalah mempunyai nilai kesepadanan, perubahan nilai bilangan baik naik maupun turun akan selalu menunjukan nilai yang sepadan dengan tegangan.
Ketepatan penunjukan besaran analog adalah tergantung pada pengukuran besaran analog, pada umumnya ketepatan pengukuran tegangan ± 1% dan juga tergantung pada suhu saat itu. Penunjukan skala pengukuran pada analog dapat berupa skala penggaris lurus, skala lingkar (jam), *bar chart* atau grafik lengkung.

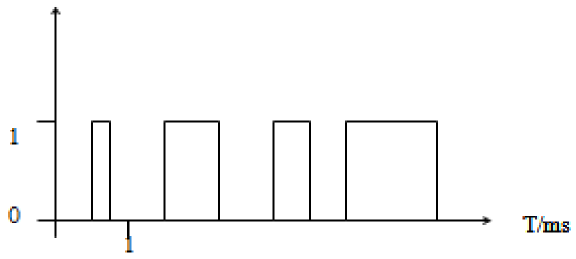


Gambar 4-1.5 Pengukuran besaran analog.



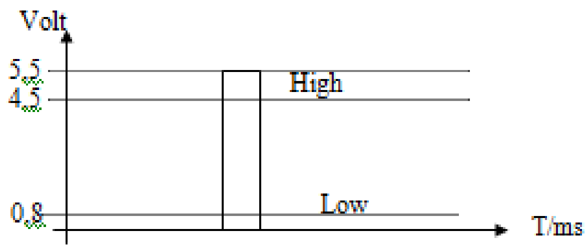
Gambar 4-1.6 Sinyal Analog

Pada sistem digital sinyal keluarannya berupa diskrit-diskrit yang berubah secara melompat-lompat tergantung dari sinyal masukannya, dan mempunyai 2 harga, yaitu harga atas atau harga bawah.



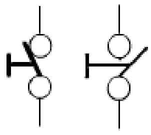
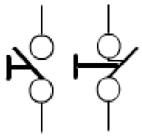
Gambar 4-1.7 Sinyal Digital

Pada teknik digital umumnya menggunakan beberapa alternatif tegangan untuk menyatakan logika 1(satu) atau 0(nol). Kondisi tegangan biner dberikan toleransi, misal untuk logika 1 tegangan antara 4 sampai 5,5 volt dan untuk logika 0 antara 0 volt sampai 0,8 volt. Seperti di perlihatkan pada gambar 4-1.8.



Gambar 4-1.8 Sinyal Digital pada kondisi 1 dan 0

Istilah-istilah pernyataan pada teknik digital

Ungkapan	Ya	Tidak
Istilah umum	High	Low
Biner	"1"	"0"
Pulsa		
Sakelar (listrik)		
Tegangan	+	-
Lampu	Nyala	Padam

Tugas 4.2. Perkembangan teknologi digital

Setelah kalian membaca dan mencermati tentang perkembangan teknologi digital, untuk lebih memahaminya maka cobalah kalian kerjakan tugas 4.2.

a. Identifikasi minimal 3 peralatan di industri yang menggunakan sinyal analog dan sinyal digital!
b. Setelah kalian mengamati perkembangan teknologi, mengapa perkembangan teknologi digital sangat pesat dibanding teknologi analog?
c. Identifikasi keuntungan menggunakan peralatan berteknologi digital!
d. Coba kalian sebutkan indikator apa yang dapat menyatakan bahwa rangkaian tersebut berteknologi digital?

2. Sistem Bilangan

Semua orang paham tentang bilangan desimal, yaitu hitungan dari 0 sampai dengan 9 yang digunakan setiap hari, namun piranti elektronik digital mengolah data bilangan biner, seperti kalkulator, dan komputer modern tidak beroperasi dengan bilangan – bilangan desimal, yang diolah komputer adalah bilangan biner, heksadesimal dan oktal. Sehingga piranti yang bekerja pada bidang

elektronik digital harus dapat mengkonversi bilangan biner, heksadesimal dan oktal.

a. Bilangan Desimal

Bilangan desimal adalah bilangan yang biasa digunakan sehari-hari karena awalnya berdasarkan jumlah jari tangan dan jari kaki sehingga basisnya 10 yaitu 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9. Desimal berasal dari bahasa latin "*decem*" yang artinya sepuluh.

Bilangan desimal memiliki bobot berbasis kelipatan 10. Jika dijabarkan nilai dari 1524_{10} adalah:

$1524_{10} = (1X10^3) + (5\ X10^2) + (2X10^1) + (4X10^0)$

$= 1000 + 500 + 20 + 4 = 1524_{(10)}$

Tabel 4-2.1 Pembobotan pada bilangan desimal

Baris 1	10^3	10^2	10^1	10^0	Nilai eksponen
Baris 2	1000	100	10	1	Nilai desimal/bobotnya
	Ribuan	Ratusan	Puluhan	Satuan	Istilah
Baris 3	1	5	2	4	Digit Desimal 1524

b. Bilangan Biner

Sistem bilangan biner hanya mempunyai dua simbol, yaitu 1 dan 0. Maka basisnya adalah 2. Sebuah digit biner, dapat 1 atau 0, disebut ***bit*** yang merupakan kependekan dari ***binary digit (=digit biner)***. Bilangan biner terdiri dari urutan *bit-bit* tersebut. Bobot setiap bitnya merupakan pangkat 2 dari posisi *bit* yang bersangkutan.

	MS			LSB
Angka biner	1	0	1	1
Bobot	2^3	2^2	2^1	2^0

Nilai eksponen yang terkecil atau *bit*/digit yang paling kecil disebut LSB (*least Significant Bit*), sedangkan *bit*/digit yang paling besar disebut MSB (*Most Significant Bit*)

Bagaimanakah cara konversi bilangan Desimal ke Biner?

Desimal → Biner

Menkonversi bilangan desimal ke biner yang dijadikan dasarnya adalah jumlah basis atau *radix*-nya,karena yang dituju adalah bilangan biner maka basisnya adalah 2.

Jika kita akan mengkonversi bilangan 10_{10} menjadi bilangan biner, coba perhatikan tabel di bawah untuk nilai desimal 10 dihubungkan dengan nilai eksponen berdasarkan 2^N.

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mengubah bilangan desimal menjadi ekuivalen biner secara efisien

1. Tuliskan bilangan yang dimaksud
2. Tuliskan bobotnya: 1,2,4,8,...,di bawah masing-masing digit yang bersangkutan pada tabel
3. Tuliskan logik 1 pada nilai yang berbobot dan tulislah logik 0 pada nilai yang tidak berbobot pada tabel 4-2.2.
4. Jumlahkan nilai yang berlogik 1

Contoh 4.1

Kita lakukan konversi bilangan desimal 10_{10} ke bilangan biner

1. 10_{10}
2. Tuliskan nilai bobot sesuai jumlah 10 yaitu 8 +2 didapat dari $2^3 + 2^1$
3. Tuliskan di tabel logik 1 pada 2^3 dan 2^1
4. Jumlahkan nilai yang berlogik 1, masukkan pada tabel 2.2

Nilai 10_{10} adalah 1010_2

Tabel 4-2.2 Pembobotan bilangan biner

MSB ↓ (pada 2^7) LSB ↓ (pada 2^0)

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	Nilai eksponen

128	64	32	16	8	4	2	1	Nilai bobot
0	0	0	0	1	0	1	0	Nilai biner

Contoh 4.2

Konversikan nilai 85_{10} menjadi bilangan biner

Ikutila langkah demi langkah konversi seperti di contoh, sehingga nilai 85 adalah = 64 + 16+ 4 + 1, nilai tersebutlah yang diberi logik 1, selain angka tersebut diberi logik 0, seperti pada tabel 4-2.3

Tabel 4-2.3 Pembobotan pada bilangan biner

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	Nilai eksponen
128	64	32	16	8	4	2	1	Nilai bobot desimal
0	1	0	1	1	0	1	0	Nilai biner

Bagaimana jika nilai desimal pecahan,misalnya 23,25 diubah ke bilangan biner?

Maka cara menghitungnya sama seperti sebelumnya tetapi jika ada nilai di belakang koma, nilai eksponennya adalah 2 pangkat minus N (2^{-N}), lihat tabel

Tabel 4-2.4 Pembobotan pada bilangan biner berkoma

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	Nilai

												eksponen
128	64	32	16	8	4	2	1	.	0,5	0,25	0.125	Nilai bobot desimal
								.				Nilai biner

Contoh 4.3

Nilai $23,25_{10}$ adalah 16+4+2+1 +0,25 sehingga penulisan pada bilangan biner adalah 10111.01_2

Tabel 4-2.5 Pembobotan pada bilangan biner berkoma

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	Nilai eksponen
128	64	32	16	8	4	2	1	.	0,5	0,25	0.125	Nilai bobot desimal
			1	0	1	1	1	.	0	1		Nilai biner

Contoh 4.4

a. $67.625_{10} = 10000011.101_2$
b. $36.875_{10} = 100100.111_2$
c. $103.125_{10} = 1100111.001_2$

Hasil dari konversi tersebut diambil dari data pada tabel di bawah ini:

Tabel 4-2.5 Pembobotan pada bilangan biner berkoma

2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	Nilai eksponen
64	32	16	8	4	2	1	.	0,5	0,25	0.125	Nilai bobot desimal
1	0	0	0	0	1	1	.	1	0	1	Nilai biner 67,625
	1	0	0	1	0	0	.	1	1	1	Nilai biner 36,875

1	1	0	0	1	1	1	.	0	0	1	Nilai biner 103,125

Bagaimanakah cara konversi bilangan Biner ke Desimal?

Biner → Desimal

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mengubah bilangan Biner menjadi ekuivalen Desimal secara efisien

1. Tuliskan bilangan biner yang dimaksud
2. Tuliskan bobotnya: 1,2,4,8,..., di bawah masing-masing digit yang bersangkutan pada tabel
3. Tuliskan logik 1 pada nilai yang berbobot dan tulislah logik 0 pada nilai yang tidak berbobot pada tabel
4. Jumlahkan nilai /bobot desimal yang berlogik 1

Contoh 4.5

Kita lakukan konversi bilangan Biner 10110_2 ke bilangan desimal

1. 10110_2
2. Tuliskan bobotnya: 1,2,4,8,..., di bawah masing-masing digit yang bersangkutan pada tabel
3. Tuliskan nilai bobot masing-masing untuk yang berlogik 1
4. Jumlahkan nilai bobot yang berlogik 1 sehingga didapat nilai desimalnya = 22_{10}

Konversi nilai 10110_2 adalah 16+4+2 = 22_{10}

Tabel 4-2.6 Pembobotan pada bilangan biner

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	Nilai eksponen
128	64	32	16	8	4	2	1	Nilai bobot desimal
0	0	0	1	0	1	1	0	Nilai biner

			16		4	2		Nilai desimal 22

c. Bilangan Oktal

Bilangan Oktal mempunyai basis 8 yaitu bilangan 0,1,2,3,4,5,6, dan 7. Basis nya 8 karena berdasarkan biner 2^3 = 8, biasanya digunakan untuk memudahkan memasukkan data ke komputer. Sehingga jika biner dikonversi ke oktal digit yang dibutuhkan hanya 3 digit karena maksimal 111_2 yaitu 7, nilai terbesar pada oktal.

Bagaimanakah cara konversi desimal ke oktal?

Desimal → Oktal

Contoh 4.6

Konversikan 85_{10} ke oktal?

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mengubah bilangan desimal menjadi ekuivalen oktal

1. Perhatikan tabel di bawah, nilai yang mendekati angka 85 adalah 64 (**1**x64)
2. Kurangkan nilai 85-64 = 21, angka yang mendekati 21 adalah nilai 16, nilai perkalian dari **2** X 8 =16
3. Kurangkan 21-16 = **5** maka tuliskan pada tabel di posisi digit, 5 di posisi digit ke 0 ,2 di posisi digit ke 1 , dan 1 di posisi digit ke 2.
4. Hasil angka 1,2 dan 5 di tuliskan pada tabel untuk nilai oktal.

Tabel 4-2.7 Pembobotan pada bilangan oktal

3	2	1	0	Posisi digit
8^3	8^2	8^1	8^0	Nilai eksponen
512	64	8	1	Nilai desimal
	1	2	5	Nilai oktal

Nilai desimal 85_{10} = 125_8

Cek Perkalian

Untuk melihat kebenaran nilai 85_{10} = 125_8, maka ikuti perhitungan di bawah ini:

(**1**x64) + (**2**X8) + (**5**X1) = 85_{10}

64 + 16 + 5 = 85_{10}

Contoh 4.7

Amati contoh konversi bilangan desimal ke oktal di bawah ini

a. 3346_{10} = 6422_8

b. 596_{10} = 1124_8

c. 67_{10} = 103_8

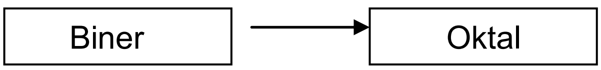
Tabel 4-2.8 Pembobotan pada bilangan oktal

8^3	8^2	8^1	8^0	Nilai eksponen
512	64	8	1	Nilai desimal
6	4	2	2	3346_{10}
1	1	2	4	596_{10}
0	1	0	3	67_{10}

Latihan cek perkalian

Dari hasil konversi diatas dengan nilai yang ada di tabel, coba cek nilai oktal tersebut dengan sistem perkalian, dengan mengikuti langkah perhitungan seperti pengecekan nilai konversi 85_{10}.

Bagaimanakah cara konversi biner ke oktal?



Karena digit paling besar di oktal adalah 7 jika di konversi ke bilangan biner = 111_2, maka cara konversinya adalah 3 digit biner dari LSB.

Konversikan 111001_2 ke oktal

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mengubah bilangan biner menjadi ekuivalen oktal

1. Tuliskan bilangan biner yang dimaksud, 111001_2
2. Pisahkan 3 digit -3 digit dari nilai LSB menjadi 111 dan 001
3. Konversikan ke bilangan oktal

Tabel 4-2.9 Pembobotan pada bilangan oktal

2^2	2^1	2^0	2^2	2^1	2^0	Nilai eksponen
4	2	1	4	2	1	Nilai bobot desimal
1	1	1	0	0	1	Nilai biner
7			1			Nilai oktal 71

Contoh 4.8

Untuk menkonvesi bilangan oktal 71_8 ke desimal adalah ......

$(7 \times 8^1) + (1 \times 8^0) = 56 + 1 = 57_{10}$

Mudah bukan? Jika kita akan menkonversi bilangan biner ke desimal dapat melakukan konversi terlebih dahulu ke oktal kemudian diubah ke desimal. Mana yang lebih cepat dan dipahami, silahkan kalian yang menentukannya.

d. Bilangan hexadesimal

Heksadesimal biasanya digunakan sebagai kode dalam pemrograman pada mikroprosesor atau mikrokomputer, bilangan ini didapat dari bilangan biner $2^4 = 16$, sehingga jumlah digit atau basisnya adalah 16. Bilangan heksadesimal terdiri dari 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,dan F.

Tabel 4-2.10 Pembobotan pada bilangan heksadesimal

Nilai bilangan desimal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Bilangan Heksa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

desimal																

Bagaimanakah cara konversi Desimal ke Heksadesimal?

Desimal → Heksadesimal

Contoh 4.9

Konversikan 280_{10} menjadi heksadesimal?

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mengubah bilangan desimal menjadi ekuivalen Heksadesimal

1. Perhatikan tabel di bawah, nilai yang mendekati angka 280 adalah 256 (**1**x256)
2. Kurangkan nilai 280-256 = 24, angka yang mendekati 24 adalah nilai 16, nilai perkalian dari **1** X 16 =16
3. Kurangkan 24-16 = **8** maka tuliskan pada tabel di posisi digit, 8 diposisi digit ke 0 ,1 diposisi digit ke 1 , dan 1 diposisi digit ke 2.
4. Hasil angka 1,1 dan 8 di tuliskan pada tabel untuk nilai Heksadesimal.

Tabel 4-2.11 Pembobotan pada bilangan oktal

3	2	1	0	Posisi digit
16^3	16^2	16^1	16^0	Nilai bobot
4096	256	16	1	Nilai desimal
	1	1	8	Nilai Heksadesimal

Maka nilai Konversi $280_{10} = 118_{16}$

Cek Perkalian

Untuk melihat kebenaran nilai $280_{10} = 118_8$, maka ikuti perhitungan di bawah ini:

(1x256) + (2X16) + (8X1) = 85

256+ 16 + 8 = 280

Amati tabel di bawah ini, kemudian lakukan pengecekan nilai konversi dengan cek perkalian!

Tabel 4-2.12 Pembobotan pada bilangan hexadesimal

3	2	1	0	Posisi digit
16^3	16^2	16^1	16^0	Nilai bobot
4096	256	16	1	Nilai desimal
1	3	B	C	Nilai Heksadesimal
4096	768	176	12	Nilai desimalnya 5052_{10}

Maka konversi bilangan heksadesimal ke desimal dari nilai $13BC_{16}$ adalah 5052_{10}

Bagaimanakah cara konversi Biner ke Heksadesimal?

Biner → Heksadesim

Contoh: 11000011_2 menjadi bilangan heksadesimal

Karena digit paling besar di heksadesimal adalah F_{16} jika di konversi ke bilangan biner = 1111_2, maka cara konversinya adalah 4 digit biner dari LSB.

Contoh 4.10

Konversikan 11000011_2 ke heksadesimal

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mengubah bilangan biner menjadi ekuivalen heksadesimal

1. Tuliskan bilangan biner yang dimaksud, 11000011_2
2. Pisahkan 4 digit,4 digit dari nilai LSB menjadi 1100 dan 0011
3. Konversikan ke bilangan heksadesimal

Tabel 4-2.13 Pembobotan pada bilangan heksadesimal

2^3	2^2	2^1	2^0	2^3	2^2	2^1	2^0	Nilai eksponen

8	4	2	1	8	4	2	1	Nilai bobot desimal
1	1	0	0	0	0	1	1	Nilai biner
C				3				Nilai heksadesimal

Contoh 4.11

Untuk menkonvesi bilangan heksadesimal $C3_{16}$ ke desimal adalah ......

$(C \times 16^1) + (1 \times 16^0) = 192 + 1 = 193_{10}$

Mudah bukan? Jika kita akan menkonversi bilangan biner ke desimal dapat melakukan konversi terlebih dahulu ke heksadesimal kemudian diubah ke desimal. Mana yang lebih cepat dan dipahami, silahkan kalian yang menentukannya.

E. ***Binary Coded Decimal System*** **(BCD) Sistem bilangan pengubah biner ke desimal**

BCD atau *Binary Code Decimal* sering ditulis dalam bentuk BCD-8421 menggunakan kode biner 4 bit untuk merepsentasikan masing – masing digit desimal dari suatu bilangan.

Bagaimanakah Konversi 156_{10} ke BCD?

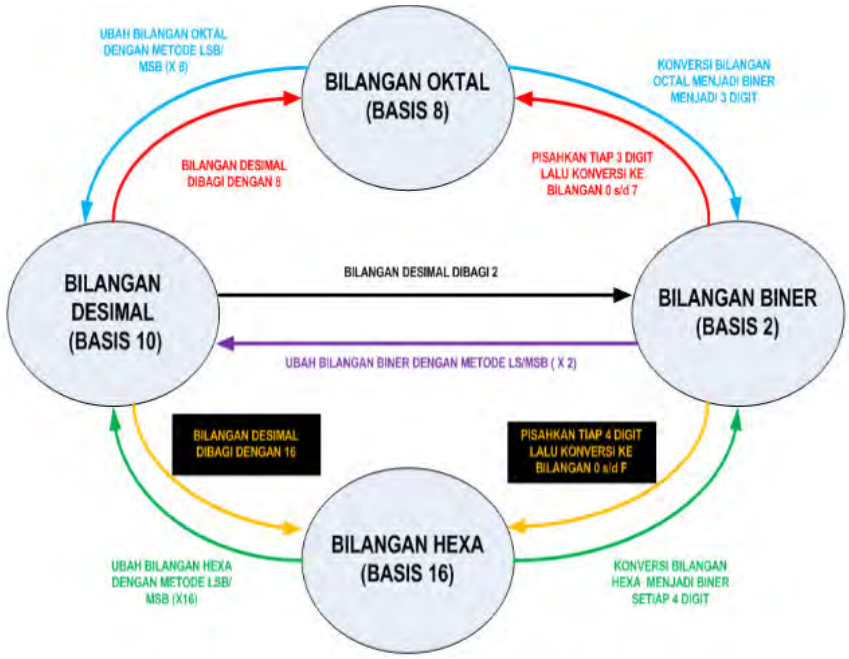
Tabel 4-2.14 Pembobotan pada bilangan BCD

Nilai bilangan desimal	100s				10s				1s			
Nilai desimal	1				5				6			
8421	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1
Nilai BCD	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0

Maka hasil dari konversi 156_{10} = 0001 0101 0110 $_{BCD}$

Tugas 3. konversi bilangan

Dari penjelasan tentang sistem bilangan, maka agar kalian dapat mengkonversi bilangan-bilangan yang selalu diolah pada sistem digital. Amati gambar konversi bilangan di bawah ini.



Gambar 4-2.1 arah konversi bilangan

a. Konversikan bilangan desimal ke bilangan biner

   1). 255 2).321 3). 127

b. Konversikan bilangan Heksadesimal ke bilangan desimal

   1). 13AF 2).25E 3).78D

c. Konversikan bilangan desimal ke bilangan heksadesimal

   1). 3016 2).9817.625 3).64661

d. konversikan bilangan biner ke bilangan heksadesimal

   1). 11110010 2).1111100011

e. Konversikan bilangan biner ke bilangan oktal

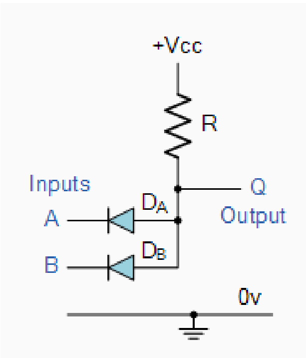
   1). 11111100 2). 11001100

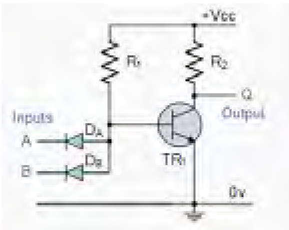
f. Konversikan bilangan desimal ke bilangan BCD

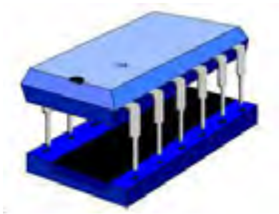
   1).478 2).1623

3.Rangkaian Logika Dasar

Setelah kalian mengetahui bahwa perkembangan teknologi elektronik digital tidak terlepas dengan yang namanya komponen (IC) *integrated circuit* . IC dibuat untuk berbagai aplikasi elektronik. Salah satunya adalah rangkaian-rangkaian saklar yang terintegrasi dalam sebuah komponen kecil dinamakan IC gerbang logika. Pada awalnya saklar elektronik yang mempunyai keputusan logika dibangun dari rangkaian dioda–resistor. Dioda–transistor ataupun transistor-transistor maka dengan perkembangan teknologi, saat ini saklar logika dibangun menjadi *chip* IC dari rangkaian dioda ataupun transistor yang dikenal dengan DRL (dioda - Resistor *Logic*), DTL (dioda –transistor *logic*) dan TTL (transistor-transistor *Logic*) *chip* IC.







Gambar 4-3.1 Gerbang AND yang dibangun dari DRL – DTL – Komponen *chip* IC

Gerbang logika adalah blok bangunan dasar untuk membentuk rangkaian elektronika digital, yang digambarkan dengan simbol-simbol tertentu yang telah ditetapkan Gerbang logika merupakan rangkaian saklar (berupa rangkaian digital) yang membuat keputusan logika mengenai keadaan keluarannya berdasarkan keadaan *input*-nya. Rangkaian digital melakukan fungsi-fungsi logika dengan menggunakan simbol biner 1 dan 0. Terdapat tiga jenis gerbang logika dasar, yaitu (i) gerbang *OR* (ii) gerbang *AND* (iii) gerbang *NOT*. Cara kerja gerbang logika itu dinyatakan dengan tabel kebenaran atau aljabar Boolean. Tabel kebenaran adalah tabel yang memperlihatkan kemungkinan-kemungkinan keadaan masukan dan keluarannya.

Tugas 4.3 Gerbang logika Dasar

Setelah kalian mengamati gambar 4-3.1, untuk lebih memahami tentang gerbang logika dasar yang dibentuk dari dioda dan transistor carilah referensi tersebut dari internet!.

a. Gambarkan rangkaian DRL ,DTL dan TTL untuk gerbang *AND* 2 input.

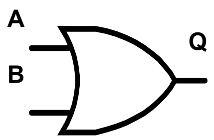
b. Gambarkan rangkaian DRL ,DTL dan TTL untuk gerbang *OR* 2 input.

c. Gambarkan rangkaian DRL ,DTL dan TTL untuk gerbang *NOT*

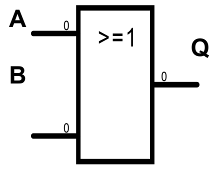
a. Gerbang Logika Dasar *OR* (penjumlahan)

Pernyataan *OR* adalah jika pada rangkaian listrik yang menggunakan 2 saklar dihubungkan paralel untuk menyalakan atau mematikan lampu, kondisi lampu akan menyala bila salah satu atau kedua saklar dalam kondisi on dan lampu akan mati apabila kedua saklar *off*.

Standar Amerika



Standar IEC



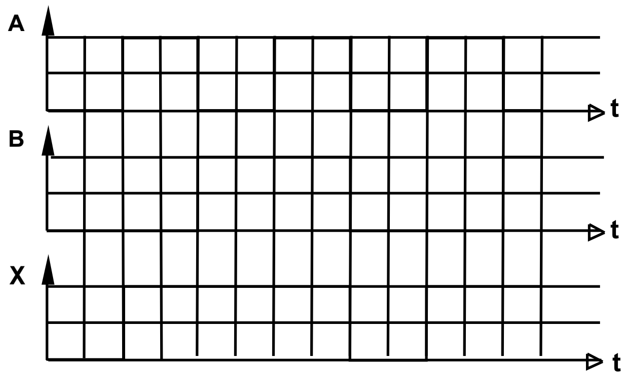
Gambar 4-3.2 Simbol gerbang *OR*

Tabel 4-3.1Tabel kebenaran untuk gerbang *OR* adalah sebagai berikut:

B	A	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

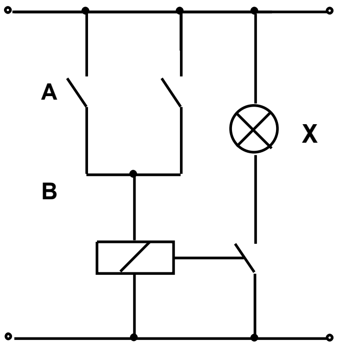
- **Fungsi Logika :** **X = A ∨ B** **X = A + B**

- **Diagram Pulsa**



Gambar 4-3.3 Diagram Pulsa *OR*

- **Persamaan Rangkaian Listrik**



B

Gambar 4-3.4 Rangkaian Listrik *OR*

d. Gerbang logika dasar *AND* (Perkalian)

Pernyataan *AND* adalah pada rangkaian listrik yang menggunakan 2 saklar dihubungkan seri untuk menyalakan atau mematikan lampu, kondisi lampu akan menyala bila kedua saklar dalam kondisi *on* dan mati apabila salah satu *off*. Dalam teknik digital rangkaian gerbang *AND* digambarkan sebagai berikut:



Standar Amerika　　　　Standar IEC

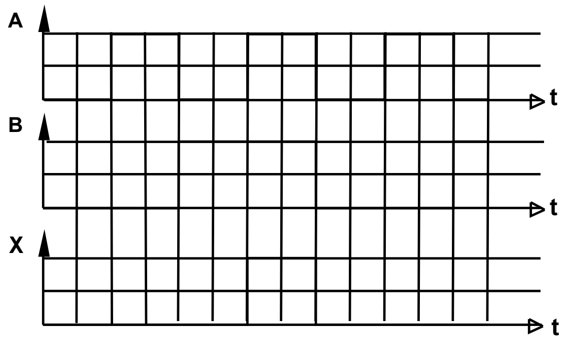
Gambar 4-3.5 Simbol gerbang *AND*

Tabel 4-3.2Tabel kebenaran untuk gerbang *AND* adalah sebagai berikut:

B	A	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

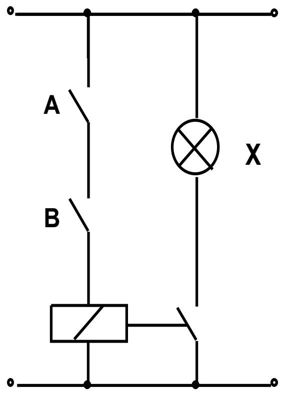
- **Fungsi Logika :** **X = A ∧ B** **X = A · B**

- **Diagram Pulsa**



Gambar 4-3.6 Diagram Pulsa *AND*

- **Persamaan Rangkaian Listrik**



Gambar 4-3.7 Rangkaian Listrik *AND*

e. Gerbang logika Dasar *NOT (Inverter)*

Hal yang sama terjadi pada rangkaian listrik yang menggunakan 1 saklar untuk menyalakan atau mematikan lampu, kondisi lampu akan menyala bila saklar dalam kondisi *off* dan mati apabila saklar dalam kondisi *on*. Dalam teknik digital rangkaian gerbang *NOT* digambarkan sebagai berikut:



Standar Amerika   Standar IEC

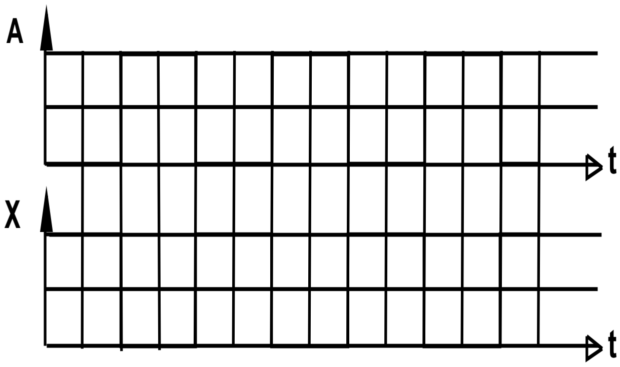
Gambar 4-3.8 Simbol Gerbang *NOT*

Tabel 4-3.3 Tabel kebenaran untuk gerbang *NOT* adalah sebagai berikut:

A	$\overline{Q}$
0	1
1	0

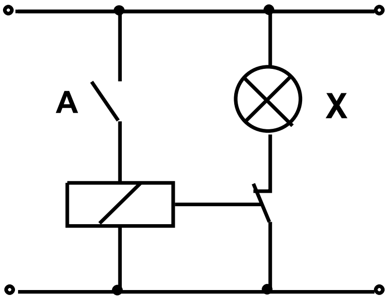
- **Fungsi Logika :** **$X = \overline{A}$**

- **Diagram Pulsa**



Gambar 4-3.9 Diagram Pulsa *NOT*

- **Persamaan Rangkaian Listrik**



Gambar 4-3.10 Rangkaian Listrik *NOT*

Contoh 4.12 Aplikasi Gerbang *AND*

Mesin cetak pada sebuah percetakan surat kabar digerakkan oleh sebuah motor listrik, dimana motor hanya bekerja jika pagar besi halaman tertutup, serta tombol kiri dan tombol kanan di aktifkan

- **Catatan**

Variabel Keluaran : X = “1” Motor Bekerja

Variabel Masukan : A = “1” Pagar Tertutup

B = “1” Tombol Kiri Aktif

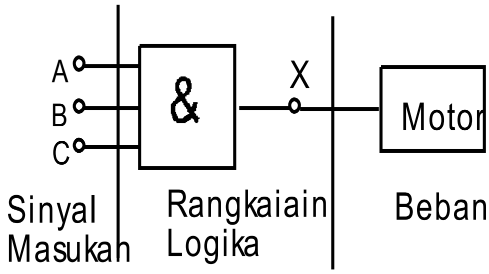
C = “1” Tombol Kanan Aktif

- **Tabel Kebenaran**

C	B	A	X	
0	0	0	0	
0	0	1	0	
0	1	0	0	
0	1	1	0	
1	0	0	0	
1	0	1	0	
1	1	0	0	
1	1	1	1	→ Motor Bekerja

- **Fungsi Logika :** $X = A \wedge B \wedge C$ **atau** $X = A \cdot B. C$

- **Prinsip Rangkaian**



Gambar 4-3.12 Prinsip Rangkaian

Contoh 4.13 Aplikasi Gerbang *OR*

Alarm anti pencuri akan berbunyi, jika sensor pada pagar depan aktif atau sensor yang terpasang pada pintu aktif (pintu terbuka) atau sensor yang terpasang pada jendela aktif (jendela terbuka) Artinya jika salah satu sensor aktif atau seluruh sensor aktif maka alarm akan berbunyi.

- **Catatan**

Variabel Keluaran : X = “1” Alarm Berbunyi

Variabel Masukan : A = “1” Pagar Terbuka

B = “1” Pintu Terbuka

C = “1” Jendela Terbuka

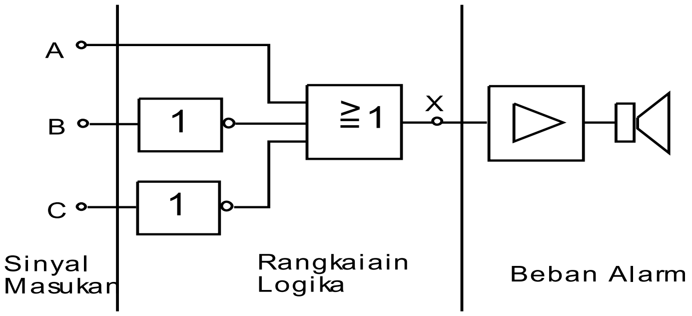
Jika A atau B atau C yang terpasang sensor aktif,sehingga jika salah satu sensor aktif maka alarm akan berbunyi.

- **Tabel Kebenaran**

C	B	A	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

→ Alarm Tidak Berbunyi

- **Fungsi Logika : X = A ∨ B ∨ C atau X= A+B+C**
- **Prinsip Rangkaian**



Gambar 4-3.12 Prinsip Rangkaian

Tugas 4.5. Pemakaian Gerbang Dasar

Rancanglah dari pernyataan ini:

Suatu tempat pencampuran bahan (*mixing*) untuk minuman terdiri dari A= gula, B = kopi dan C = susu. Alat *mixing* akan aktif jika bahan yang dimasukkan terdiri dari gula dan kopi, gula dan susu, kemudian gula, kopi dan susu.

Dari pernyataan di atas coba kalian buat:

a. Catatan

b. Tabel kebenaran

c. Fungsi logika

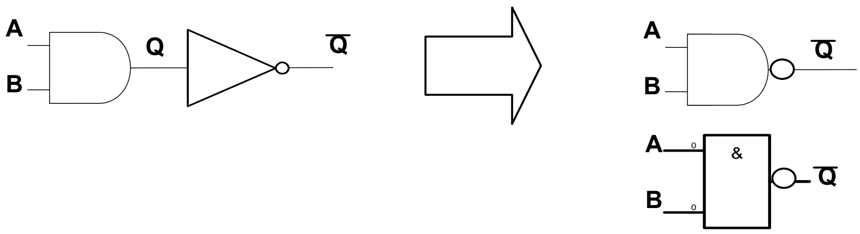
4. Gerbang Kombinasi Sederhana

Gerbang kombinasi dibentuk dari kombinasi antar gerbang dasar, diantaranya adalah gerbang ***TIDAK DAN (NAND)***, gerbang ***TIDAK ATAU (NOR)***, gerbang ***ANTIVALEN (EX-OR)***, dan gerbang ***AQUVALEN (EX-NOR)***

a. Gerbang NAND

NAND adalah gerbang yang dibangun dari kombinasi antara gerbang *AND* dan gerbang *NOT*, sehingga hasil dari *AND* selalu dibalikkan.

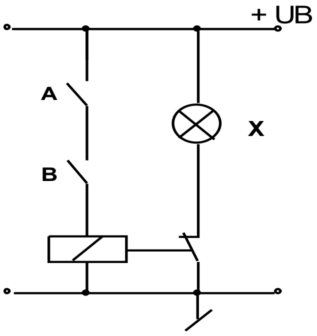
Berikut merupakan gambar simbol gerbang NAND:



Gambar 4-4.1 Gerbang NAND

Tabel 4-4.1 Tabel kebenaran untuk gerbang NAND adalah sebagai berikut:

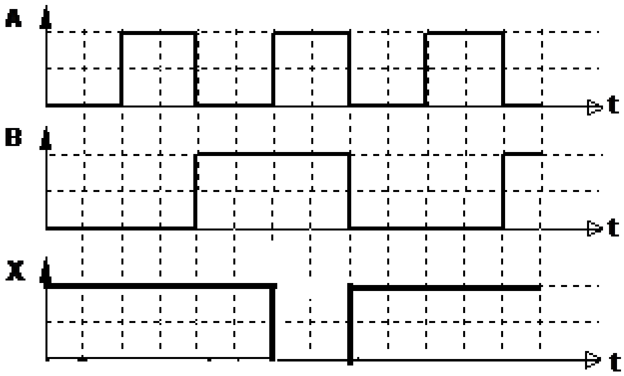
B	A	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Gambar 4-4.2 Rangkaiain Listrik NAND

- **Fungsi Logika :** $\mathbf{X = \overline{A \wedge B}}$ **atau** $\mathbf{X = \overline{A . B}}$

- **Diagram Pulsa**

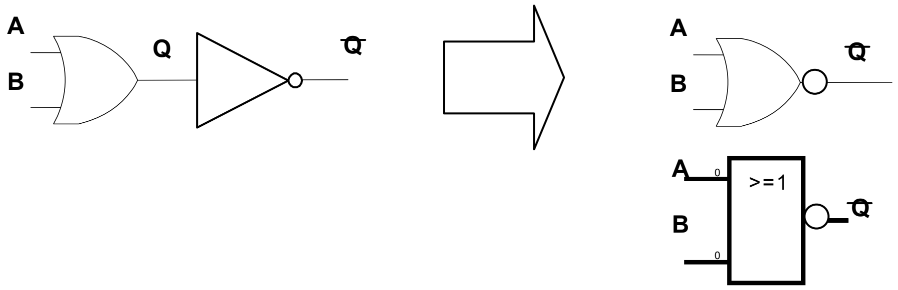


Gambar 4-4.3 Diagram Pulsa NAND

b. Gerbang NOR

NOR adalah gerbang yang dibangun dari kombinasi antara gerbang *OR* dan gerbang *NOT*, sehingga hasil dari *OR* selalu dibalikkan.

Berikut merupakan gambar simbol gerbang NOR:



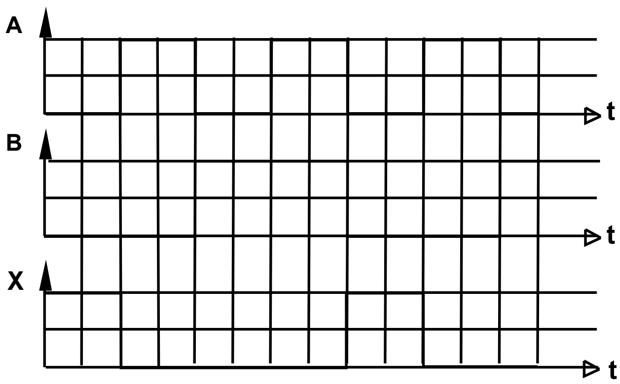
Gambar 4-4.4 Gerbang NOR

Tabel 4-4.2. Tabel kebenaran untuk gerbang NOR adalah sebagai berikut:

B	A	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

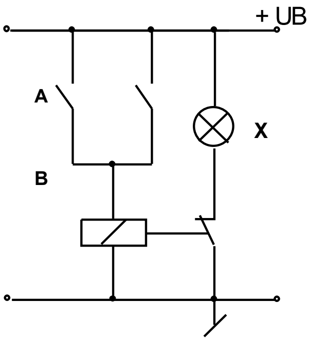
Fungsi Logika : $X = \overline{A \vee B}$ $X = \overline{A + B}$

- **Diagram Pulsa**



Gambar 4-4.5 Diagram Pulsa NOR

- **Persamaan Rangkaian Listrik**



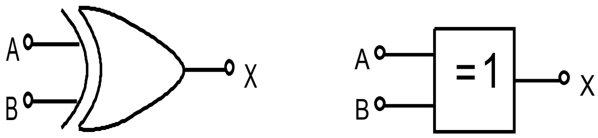
Gambar 4-4.6 Rangkaian Listrik NOR

c. Gerbang Dasar EX-OR

XOR adalah gerbang yang dibangun dari kombinasi antara gerbang *NOT, AND* dan gerbang *OR*.

Pernyataan Logika logika dari gerbang EX-OR :

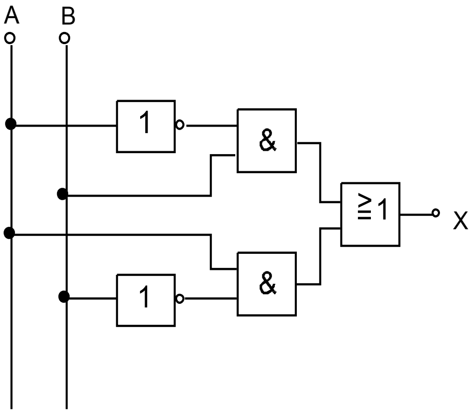
Apabila variabel masukan berlogik "tidak sama", maka keluarannya akan berlogik "1", dan hanya jika variabel masukan berlogik "sama", maka keluaranya akan berlogik "0".



Gambar 4-4.7 Gerbang EX-OR

Tabel 4-4.3. Tabel kebenaran untuk gerbang EXOR adalah sebagai berikut:

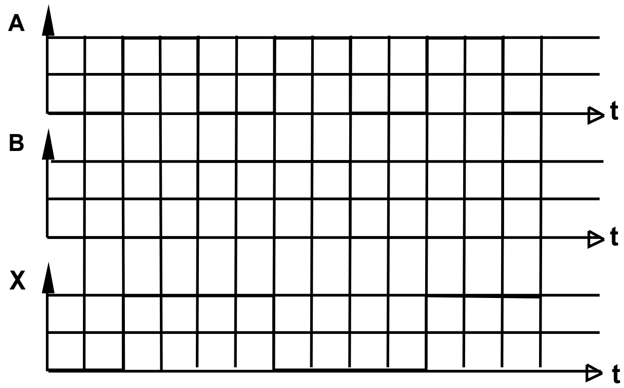
B	A	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Gambar 4-4.8 Pembentukan Gerbang EX-OR

- **Fungsi Logika :** $\mathbf{X = (A \wedge \overline{B}) \vee (\overline{A} \wedge B)}$ $X = A.\overline{B} + \overline{A}.B$

- **Diagram Pulsa**



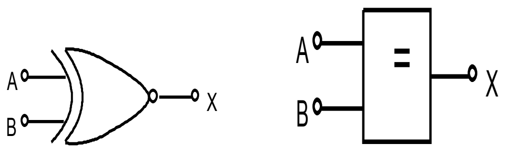
Gambar 4-4.9 Diagram Pulsa EX-OR

d.Gerbang EX-NOR

Pernyataan Logika logika dari gerbang EX-NOR :

Apabila variabel masukan berlogik "sama", maka keluarannya akan berlogik "1", dan hanya jika variabel masukan berlogik "tidak sama", maka keluaranya akan berlogik "0".

- **Simbol Logika**

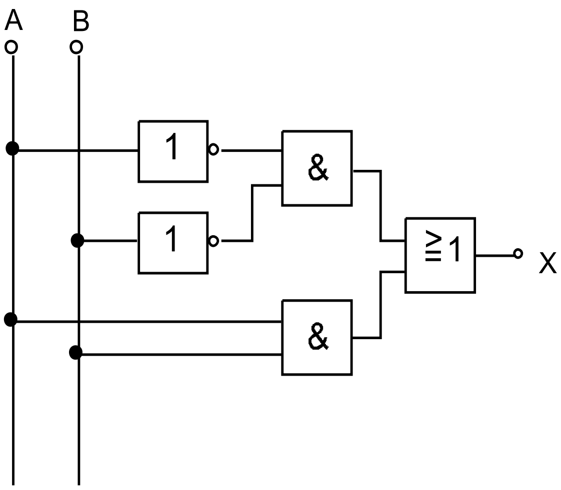


Gambar 4-4.10 Gerbang EX-NOR

Tabel 4-4.4 Tabel kebenaran untuk gerbang EX-NOR adalah sebagai berikut:

B	A	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

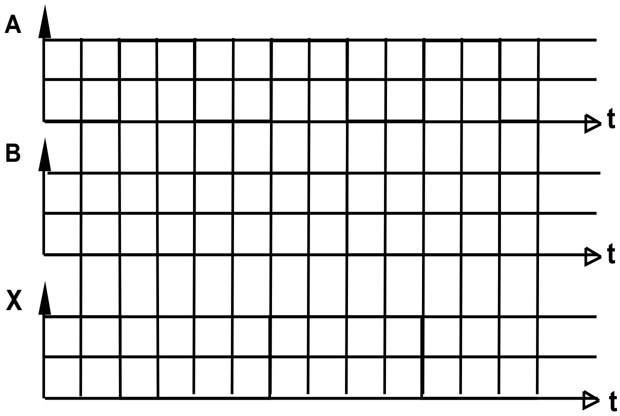
Pembentukan gerbang EX-NOR adalah dengan menggabungkan gerbang dasar *AND, OR* dan *NOT*.



Gambar 4-4.11 Pembentukan gerbang EX-NOR

Fungsi Logika **:** $\mathbf{X = (\bar{A} \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge B)}$ $X = \bar{A}.\ \bar{B} + A.\ B$

- **Diagram Pulsa**



Gambar 4-4.12 Diagram pulsa EX-NOR

Tugas 4.6. Persamaan rangkaian kombinasi menjadi rangkaian listrik

Dari tabel kebenaran EXOR dan EXNOR coba kalian buatkan persamaan rangkaian listriknya!

Tugas 4.7. Pemakaian Gerbang Kombinasi

Lampu interior mobil akan padam jika kedua pintu yang ada di mobil tertutup (sakelar *ON*), hanya jika salah satu pintu terbuka, lampu akan menyala.

Dari pernyataan di atas coba kalian buat:

a. catatan

b. Tabel kebenaran

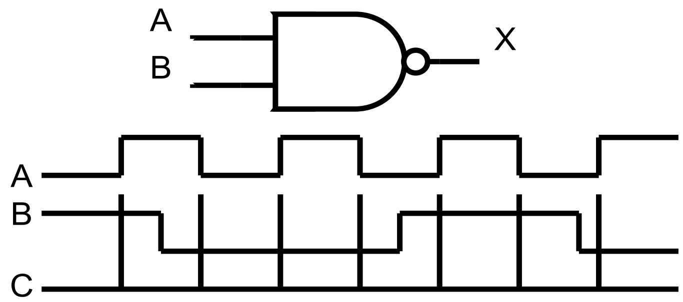
c. Fungsi logika

Tugas 4.8. Menganalisa rangkaian

1. Suatu gerbang logika 2 masukan seperti tampak pada gambar di bawah ini. Kedua masukannya, yaitu masukannya A dan masukannya B, diberi isyarat digital diagram pulsa seperti tampak pada gambar di bawah ini.

   A. Sebutkan nama gerbang logika tersebut.

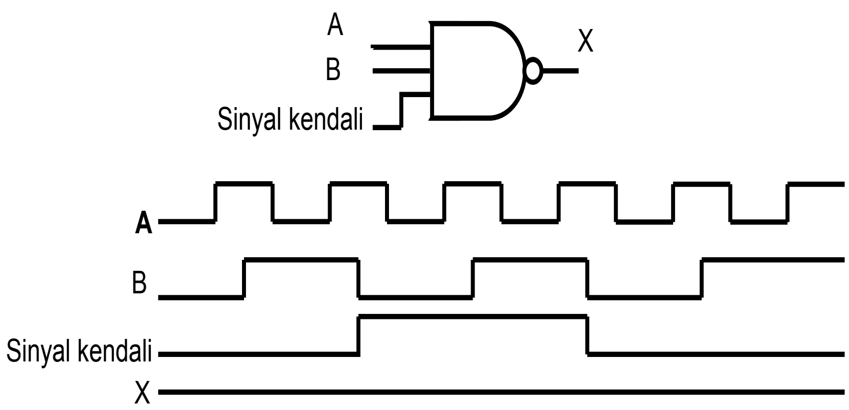
B. Bagaimanakah kondisi X sesuaikan dengan pulsa yang masuk pada gerbang tersebut ?



2. Ada suatu gerbang logika 3 masukan, yang ketiga masukannya, yaitu masukan A, masukan B dan C masukan kendali (*control*), diberi isyarat digital diagram pulsa di bawah

   A. Sebutkan nama gerbang logika tersebut.

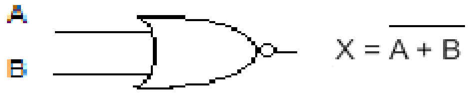
   B. Bagaimanakah kondisi X sesuaikan dengan pulsa yang masuk pada gerbang tersebut ?

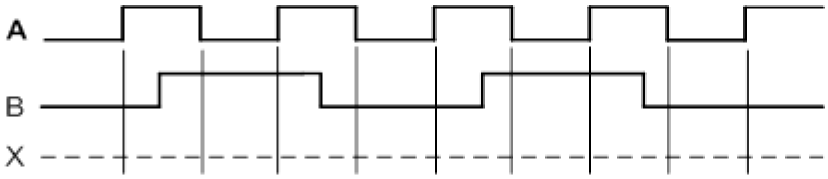


3. Sebuah gerbang logika 2 masukan tampak seperti pada gambar di bawah ini. Kedua masukannya yaitu masukan A dan B, diberi isyarat digital dengan diagram pulsa seperti tampak pada gambar di bawah ini.

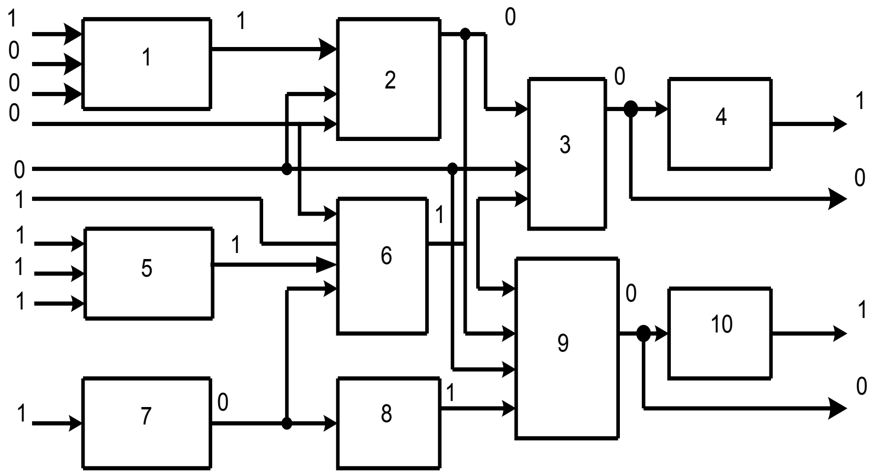
   A. Sebutkan nama gerbang logika tersebut.

   B. Bagaimanakah kondisi X sesuaikan dengan pulsa yang masuk pada gerbang tersebut ?





4. Suatu rangkaian digital tampak seperti pada gambar di bawah ini. Logika masukan dan keluaran telah di ketahui, tetapi gerbang logikanya belum di ketahui. Berdasarkan logika masukan dan keluaran yang telah diketahui level logikanya, tentukan gerbang logika masing-masing kotak dari kotak 1 hingga 8.



Catatan :

1 = 6 = 3 (kotak 2,5, dan 9 sama gerbang logikanya)

2 = 5 = 9 (kotak 1,6, dan 3 sama gerbang logikanya)

5. Aljabar Boolean

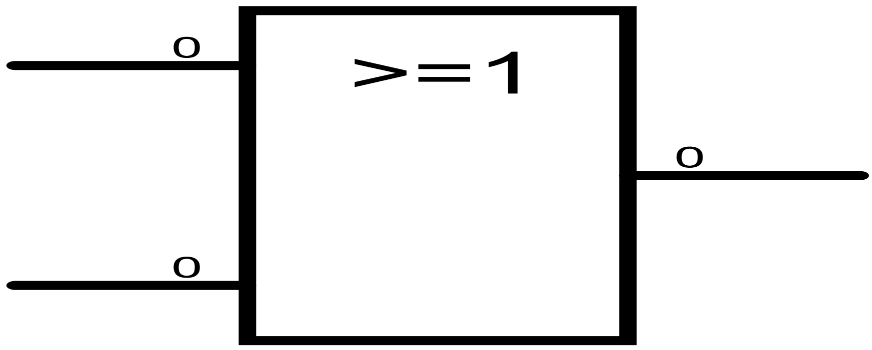
Aljabar boolean adalah kumpulan aturan, hukum dan teorema yang dapat menyatakan operasi logika dalam bentuk persamaan dan dapat dimanipulasi secara matematis. Aljabar yang digunakan untuk menggambarkan fungsi-fungsi logika tersebut dengan simbol-simbol disebut "Hukum-hukum Aljabar Boolean".

Untuk menggunakan aljabar Boolean dengan benar, kita harus mengikuti aturan dan hukum-hukumnya. Tiga hukum yang terpenting adalah: hukum komutatif, hukum asosiatif dan hukum distributif. Tiap hukum-hukum ini dibuat dengan menggunakan aksioma, tabel kebenaran, diagram logika atau teorema atau hukum yang telah terbukti.

5.1 Hukum Dasar Aljabar Boole

Hukum aljabar boole pada dasarnya adalah dari penjalinan logika *AND, OR* dan *NOT*, berikut merupakan gambaran dari hukum tersebut:

Tabel 5. 1 Teorema Aljabar Boolean



5.1.1 Hukum De Morgan

Hukum De Morgan (diambil dari nama seorang matematik dari inggris 1806-1871) merupakan pengembangan dari aljabar Boole, yaitu menyelesaikan berbagai masalah dalam aljabar Boole dengan menggunakan negasi NAND atau NOR.

De Morgan yang pertama (NAND) adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{Q} = \overline{(A \,.\, B)} = \overline{A} + \overline{B}$$

De Morgan yang kedua (NOR) adalah sebagai berikut:

$$Q = \overline{(A + B\,)} = \overline{A} \,.\, \overline{B}$$

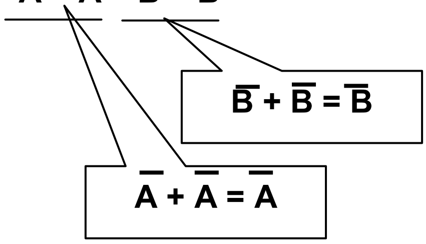
Contoh : $\mathbf{Q = \overline{A\,.\,B} + A\,.\,B}$

Penyelesaian dari contoh ini dilakukan dengan menggunakan hukum de morgan 1 karena A NAND B dan NOT A NAND B, sehingga kita dapatkan:

$$\begin{aligned}\mathbf{Q} &= \mathbf{\overline{A\,.\,B} + \overline{A.\,B}}\\ &= \mathbf{\overline{A} + \overline{B} + \overline{A} + \overline{B}}\\ &= \mathbf{\overline{A} + \overline{A} + \overline{B} + \overline{B}}\\ &= \mathbf{\overline{A} + \overline{B}}\end{aligned}$$

Hasil terakhir ternyata *NOT* A dan *NOT* A dalam jalinan *OR* dan *NOT* dengan *NOT* B dalam jalinan *OR*, berdasarkan hukum yang terdahulu dapat disederhanakan sebagai berikut:

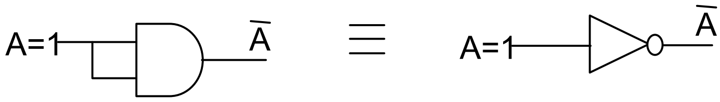
$$\mathbf{Q \quad = \overline{A} + \overline{A} + \overline{B} + \overline{B}}$$



5.2 Gerbang NAND sebagai gerbang universal

(i) Gerbang *NOT* dari gerbang NAND

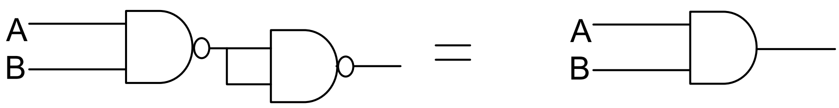
Jika semua masukan gerbang NAND dengan 2-masukan dihubungkan, maka diperoleh sebuah gerbang dengan satu masukan dan membentuk gerbang *NOT*



(ii) Gerbang *AND* dari gerbang NAND

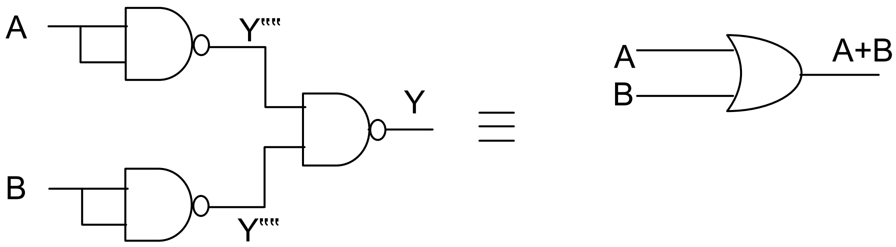
Untuk ini diperlukan dua buah gerbang *AND*. Jika keluaran NAND pertama dimasukan ke masukan NAND kedua yang dibentuk sebagai *inverter*, hasilnya merupakan rangkaian gerbang *AND*.

Keluaran gerbang NAND pertama merupakan keluaran terbalik gerbang *AND*. NAND kedua bertindak sebagai pembalik, menghasilkan rangkaian gerbang *AND.*



(iii) Gerbang *OR* dari gerbang NAND

Untuk membentuknya diperlukan tiga buah gerbang NAND. Dua gerbang NAND pertama bekerja sebagai gerbang *NOT* dengan menggabungkan kaki masukan-masukan gerbang NAND tersebut. Keluaran gerbang *NOT* ini dimasukan ke gerbang NAND. Hasilnya ialah gerbang *OR*.



Dengan menggunakan teorema DeMorgan kedua dapat diperlihatkan bahwa semua logika dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian NOR berkali-kali. Gerbang-gerbang NAND dan NOR merupakan gerbang umum karena dapat digunakan berulang kali untuk menghasilkan gerbang logika lainnya. Jadi gerbang-gerbang ini dapat membentuk kumpulan rangkaian digital.

5.3 Karnaugh Map

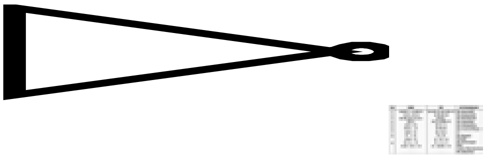
Aljabar Boolean merupakan dasar untuk penyederhanaan rangkaian logika. Salah satu teknik yang paling mudah untuk penyederhanaan rangkaian logika adalah metode peta Karnaugh. Metode grafik ini berdasarkan aljabar boolean.

1. Prosedur K-Map dapat dilakukan pada persamaan *Maksterm* (Jumlah dari Perkalian) dan *minterm* (perkalian dari jumlah). Menyusun Boolean *Minterm* dari suatu tabel kebenaran, data *output* yang berlogik 1 di masukkan ke dalam peta K-map seperti gambar 4.1 pemetaan 2 variabel.

   a. Pemetaan 2 Variabel

   Tabel 5. 1 Tabel Kebenaran 2 variabel

B	A	X
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1

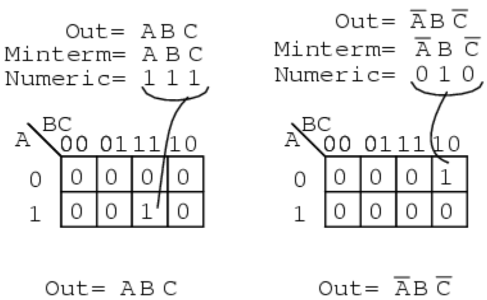


Gambar 5-4 1 Pemetaan 2 Variabel

   b. Pemetaan tiga variabel

   Tabel 5. 2 Tabel Kebenaran 3 variabel

B	A	C	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

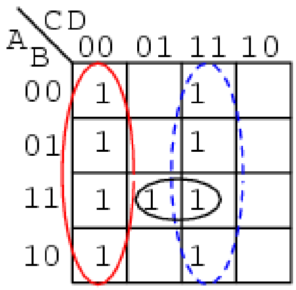


Gambar 5-4.2 Pemetaan 3 Variabel

c. Pemetaan 4 variabel

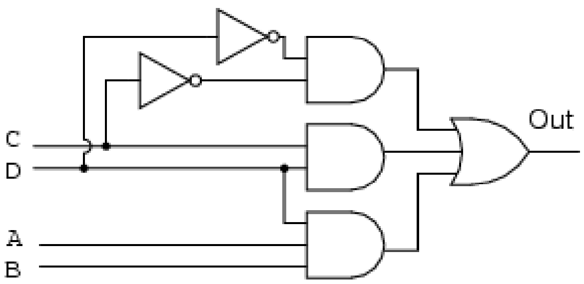
Tabel 5. 3 Tabel kebenaran 4 variabel

B	A	C	D	X
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1



$$Out = \overline{C}\,\overline{D} + CD + ABD$$

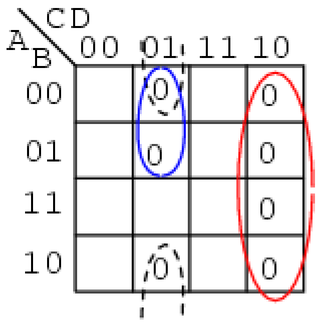
Gambar 5-4.3 Pemetaan 4 Variabel



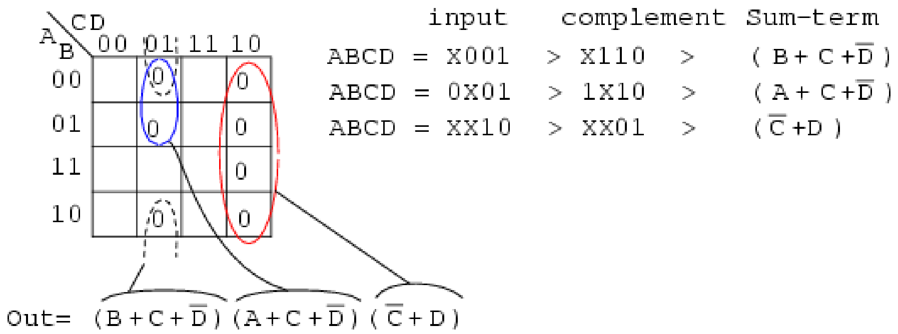
Gambar 5.-4.4 Hasil penyederhanaan dikonversi menjadi gerbang logika

5.2.1 Prosedur K-Map *Maksterm* (Perkalian dari Jumlah)

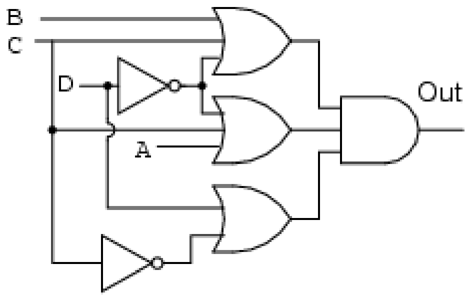
Persamaan *Maksterm* adalah kebalikan dari *minterm* jika ada persamaan dari suatu perkalian maka jika disederhanakan dengan *maksterm* hasilnya adalah persamaan suatu penjumlahan. Data *output* yang benilai logik 0 dimasukkan ke dalam tabel kebenaran. Pemetaan 4 variabel *maksterm*, tabel yang digunakan adalah tabel 4.4 tabel kebenaran 4 variabel, hasil data X yang berlogik 0 di masukkan ke dalam peta yang dapat dilihat pada gambar 4.4, adapun cara mencari hasil penyederhanaannya dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 5-4.5 Peta K-Map makterm 4 variabel



Gambar 5-4.6 Hasil Penyederhanaan makterm 4 variabel



Gambar 5. -4.7 Hasil penyederhanaan di konversi menjadi gerbang logika

Latihan

a. Sederhanakan $F = A . (A . B + C)$

Penyelesaian

$F = A . (A . B + C) = A . A . B + A . C$

$F = A . B + A . C$

$F = A . (B + C)$

b. Sederhanakan $F = \overline{A}\ B + A . B + \overline{A} . \overline{B}$

Penyelesaian

$F = \overline{A} . B + A . B + \overline{A} . \overline{B} = (\overline{A} + A) . B + \overline{A} . \overline{B}$

$F = 1 . B + \overline{A} . \overline{B}$

$F = B + \overline{A} . \overline{B}$

c. Sederhanakan $F = (\overline{A} + B)\ (\overline{A} + B)$

Penyelesaian

$F = \overline{A} . \overline{A} + \overline{A} . B + \overline{A}.B + B\ B$

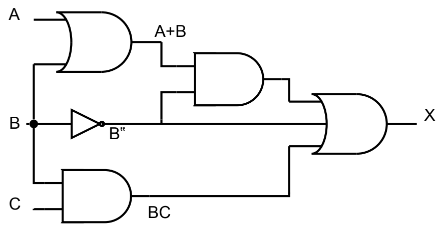
$F = \overline{A} + \overline{A}.B + \overline{A}.B + B$

$F = \overline{A} + \overline{A}.B + B$

$F = \overline{A}\ (1 + B) + B$

$F = \overline{A} + B$

d. Perhatikan aljabar boole berikut ini.



Persamaan aljabar boole untuk x adalah

Penyelesaian

$X = (A + B) . \overline{B} + \overline{B} + BC$

$X = A\overline{B} + B\overline{B} + \overline{B} + BC$

$X = \overline{B}.(A + 1) + BC$

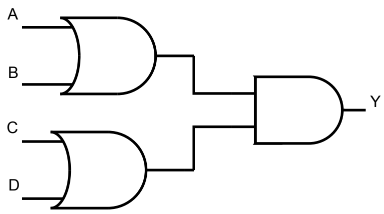
$X = \overline{B} + BC$

e. Sederhanakan persamaan aljabar boole berikut ini, gambarkan hasil penyederhanaannya!

$Y = AB + AC + BD + CD$

$= (A + D)(B + D)$

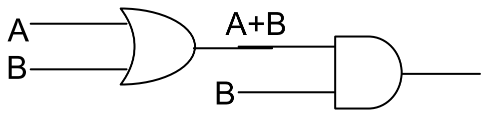
Penyelesaian



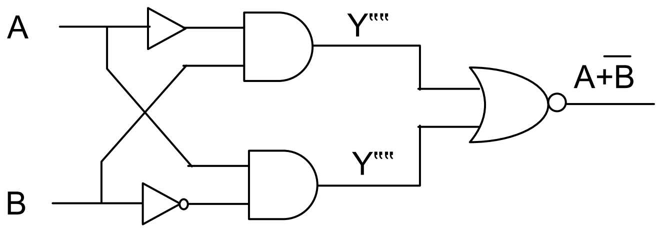
Tugas 4.9 Aljabar Boolean

a. Dari gambar di bawah ubahlah menjadi gerbang NAND

1).



2).



b. Sederhanakan fungsi ini, buat rangkaian logik dengan NAND *gate* dan tabel kebenarannya :

$Q =.(A.B.C) + (\overline{A} .B. C) + (A. \overline{B}. C) +(A .\overline{B}. C)$

c. Dari persamaan di bawah ini buatlah rangkaian penyederhanaannya:

$Q= (\overline{A}+ B + D) (\overline{A}+\overline{B}+ C+ D)$

d. Diketahui persamaan aljabar boole seperti di bawah ini, gambarlah rangkaian dari persamaan tersebut.

$Y = \overline{A} .B + A .B$

e. Suatu persamaan aljabar Boole dinyatakan sebagai berikut:

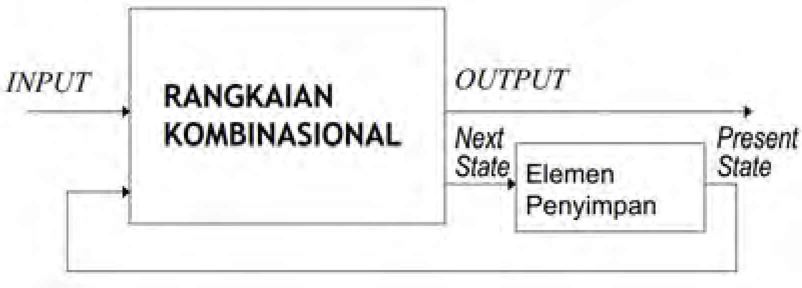
$X = (\overline{AB . \overline{C + D}) . AB}$

6. Rangkaian Flip-Flop



Gambar 4-6.1 DDR ram 512MB

Pernahkah kalian berpikir mengapa komputer dapat menyimpan suatu data atau informasi? Data atau informasi disimpan dalam suatu memori, rangkaian memori penyimpan data yang paling sederhana dikenal istilah flip-flop. Rangkaian flip-flop adalah unit rangkaian sekuensial karena Logika sekuensi merupakan rangkaian logika yang keadaan *output*-nya selain tergantung pada keadaan *input-input*nya juga tergantung pada keadaan *output* sebelumnya. Dengan menggunakan gabungan gerbang-gerbang kombinasional dan kemudian umpan balikkan (*feedback*). Dalam aplikasinya, rangkaian logika sekuensi banyak digunakan di dalam sistem komputer. Rangkaian logika ini didefinisikan pula sebagai rangkaian logika yang *output*-nya tergantung pada waktu.

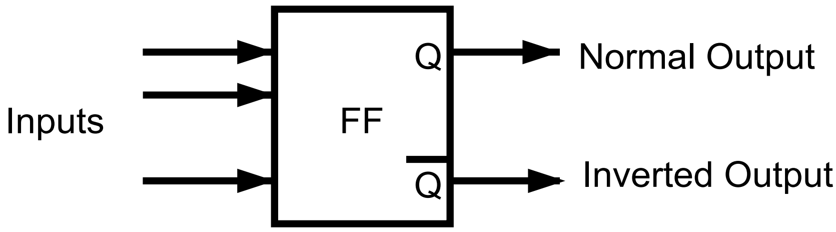


Gambar 4-6.2 rangkaian sekuensial

Flip-flop adalah suatu memori elektronik atau unit penyimpan. Flip-flop yang biasa disingkat dengan FF adalah suatu rangkaian logika dengan dua *output* yang satu kebalikan dari yang lain. Gambar 4-6.2 menunjukkan *output-output*

tersebut sebagai Q dan Not Q. Sebenarnya dapat digunakan sembarang huruf tetapi Q adalah yang paling umum.

Output Q disebut *output* FF normal dan *Not* Q adalah *output* FF i*nverse*. Apabila kita mengatakan FF berada dalam keadaan tinggi (1) atau keadaan rendah (0) yang dimaksudkan adalah keadaan pada *output* Q. Dengan sendirinya *output Not* Q merupakan kebalikan dari Q



Gambar 4-6.3 Simbol Flip-flop

Macam-macam jenis Flip-flop

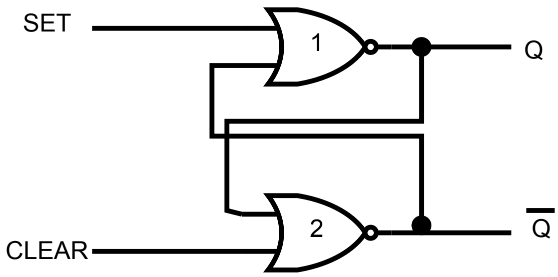
S-R (*Set-Resset*) Flip-flop

D (data) Flip-flop

J-k Flip-flop

a. S-R Flip-Flop Dari Gerbang Logika

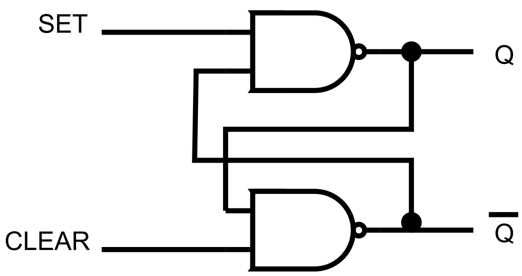
Rangkaian FF dasar dapat disusun dari dua NOR *gate* yang dihubungkan seperti gambar 4-6.3. Perhatikanlah bahwa *output* dari NOR-1 berfungsi sebagai salah satu *input* untuk NOR-2 dan sebaliknya. Kedua *output* adalah Q dan *Not* Q, yang dalam keadaan normal selalu saling berlawanan, kedua *input* tersebut ditandai dengan *SET* dan *CLEAR*.



Set	Clear	FF Output
0	0	No Change
1	0	Q = 1
0	1	Q = 0
1	1	Ambiguous

Gambar 4-6.4 Flip-flop dibangun dari gerbang NOR

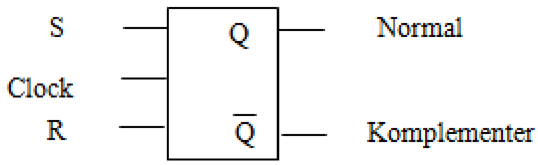
Rangkaian FF dasar yang lain dapat dikonstruksi dengan NAND *gate* seperti ditunjukkan pada gambar 4-6.5.



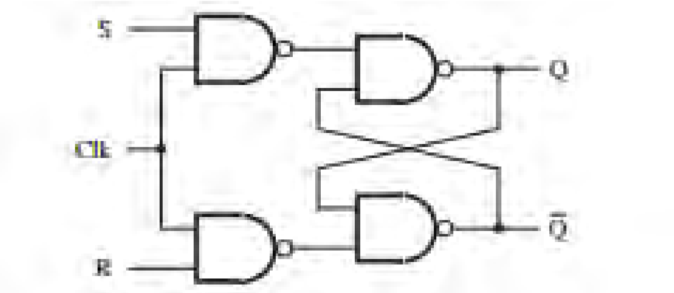
Set	Clear	FF Output
1	1	No Change
0	1	Q = 1
1	0	Q = 0
0	0	Ambiguous

Gambar 4-6.5 Flip-flop dibangun dari gerbang NAND

b. S-R flip-flop dengan *Clock*



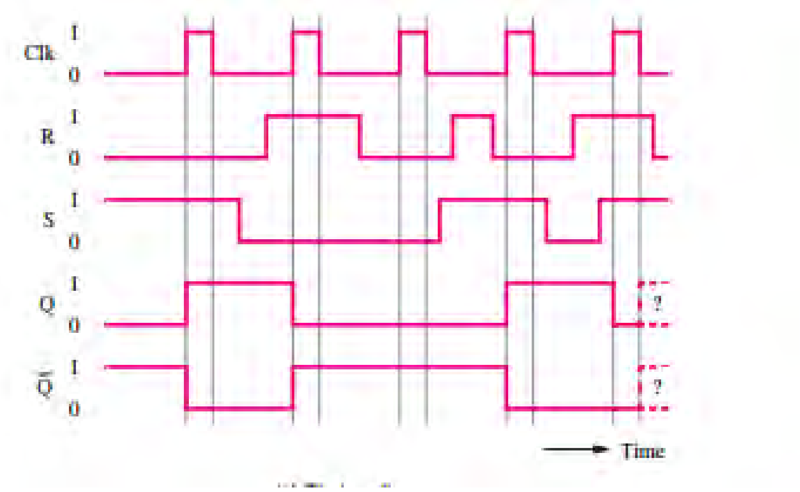
Gambar 4-6.6 Simbol S-R Flip-flop dengan clock



Gambar 4-6.7 Rangkaian S-R FF dengan clock

Tabel 4-6.1. Tabel kebenaran S-R dengan *clock*

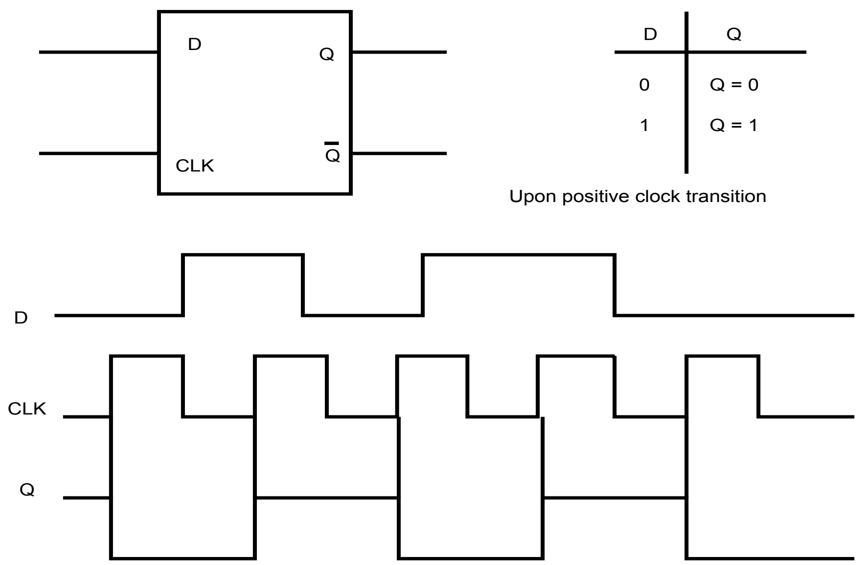
Mode Operasi	Masukan			Keluaran	
	Clock	S	R	Q(L1)	Q(L2)
Tetap	1	0	0	Tidak berubah	
Set	1	0	1	1	0
Reset	1	1	0	0	1



Gambar 4-6.8 Diagram pulsa S-R dengan *clock*

c. Data (D) Flip-Flop

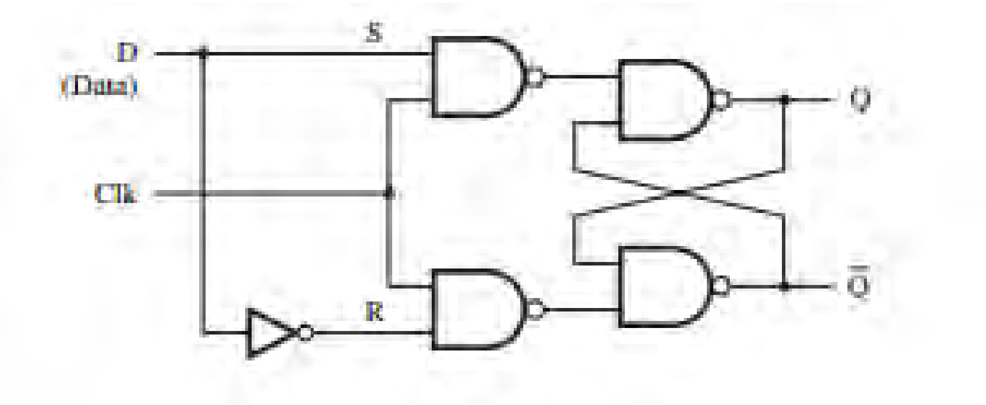
Gambar 6.7 menunjukkan simbol dari sebuah *clocked* D FF yang mendapat *trigger* dari transisi-transisi positif pada *clock input*-nya. D *input* adalah suatu *input* pengontrol tunggal yang menentukan keadaan kerja FF sesuai dengan *truth table* yang menyertainya.



Gambar 4-6.9 D Flip-flop di trigger pada transisi positif

Perhatikan bahwa setiap saat terjadi suatu transisi positif pada *clock input*-nya, Q *output* memiliki harga yang sama seperti level yang terdapat pada D *input*. Transisi-transisi negatif pada *clock input* tidak mempunyai pengaruh. Level-level yang terdapat pada D *input* tidak mempunyai pengaruh sampai terjadinya suatu transisi jam positif. D FF yang di-*trigger* sisi negatif juga ada tersedia dan cara bekerjanya juga sama kecuali di-*trigger* pada transisi menuju negatif. Simbol untuk D FF yang di-*trigger* sisi negatif mempunyai suatu lingkaran kecil pada *clock input*-nya.

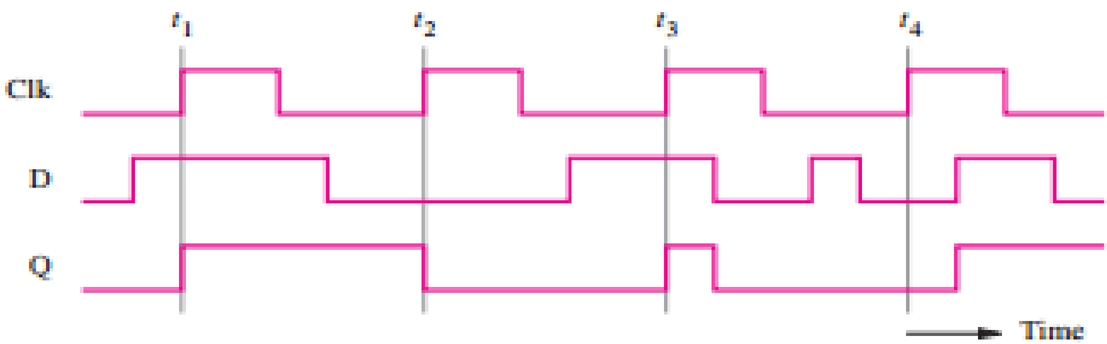
Dapat di katakan Data Flip-flop dibentuk dari flip-flop RS yang di-*clock* dengan data *input* yang dikomplementer. Rangkaian dan simbol dari D flip-flop seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4-6.10 D Flip-flop dibangun dari gerbang dasar

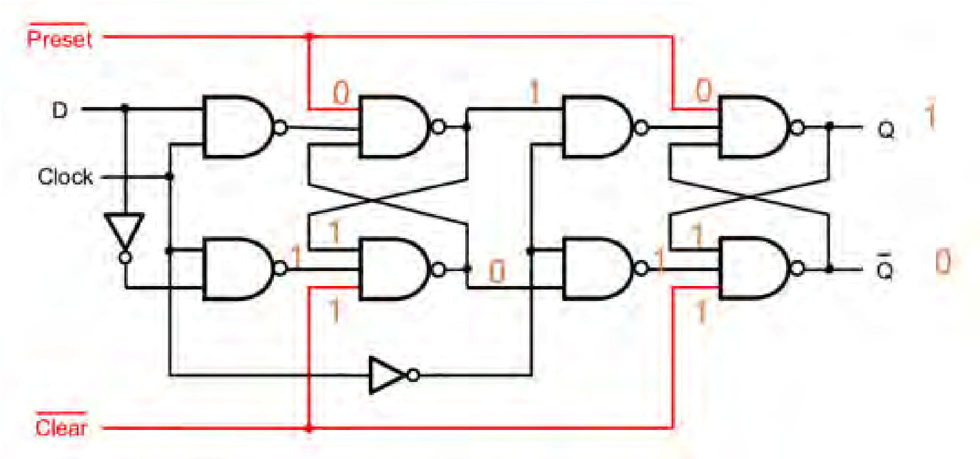
Tabel 4-6.2 Tabel kebenaran D Flip-flop

Masukan		Keluaran	
Data	Clock	Q	Q
0	1	0	1
1	1	1	0



Gambar 4-6.11 Diagram pulsa D Flip-Flop dengan *clock*

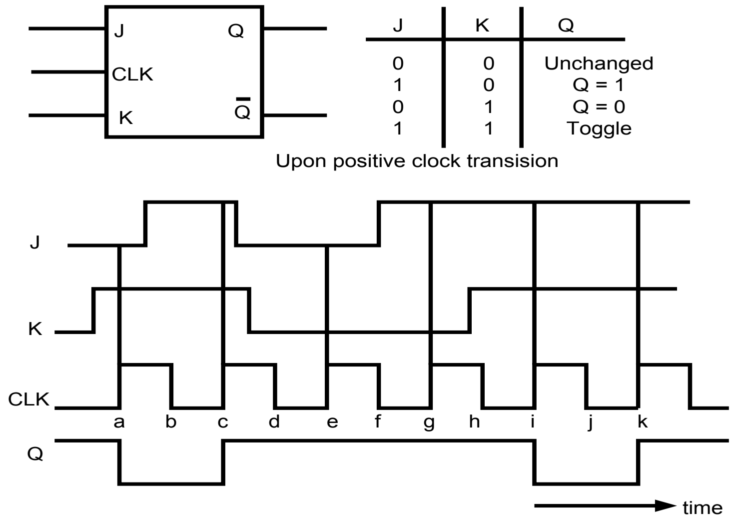
d. D FF dengan *Preset* dan *Preclear*



Gambar 4-6.13 Rangkaian D Flip-Flop dengan *Preset* dan *Clear*

e. J K Flip-Flop

Gambar 4-6.14 menunjukkan sebuah *clocked* JK FF yang di-*trigger* oleh sisi menuju positif dari sinyal pendetak /*clock*. *Input-input* J dan K mengontrol dari keadaan FF dengan cara yang sama seperti *input-input* S dan R mengontrol *clocked* SR FF kecuali satu perbedaan utama, keadaan J = K = 1 tidak menghasilkan *output* yang tak menentu dengan istilah *toggle* . Jika pada saat J=K= 1 keluaran Q adalah 1, maka pada kondisi berikutnya keluaran Q = 0, sehingga kondisi keluaran selalu berlawanan dengan kondisi keluaran sebelumnya.

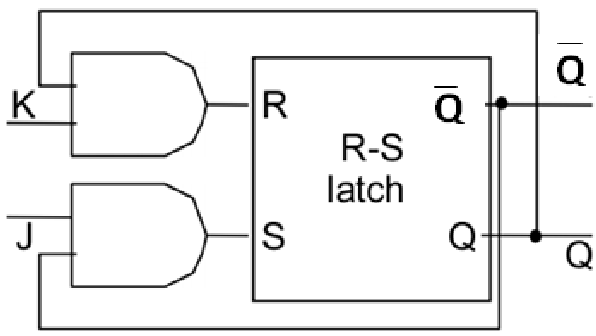


Gambar 4-6.14 J-K Flip-flop

Salah satu IC TTL JK-FF adalah IC 7476 ditunjukkan pada gambar 4-5.15.



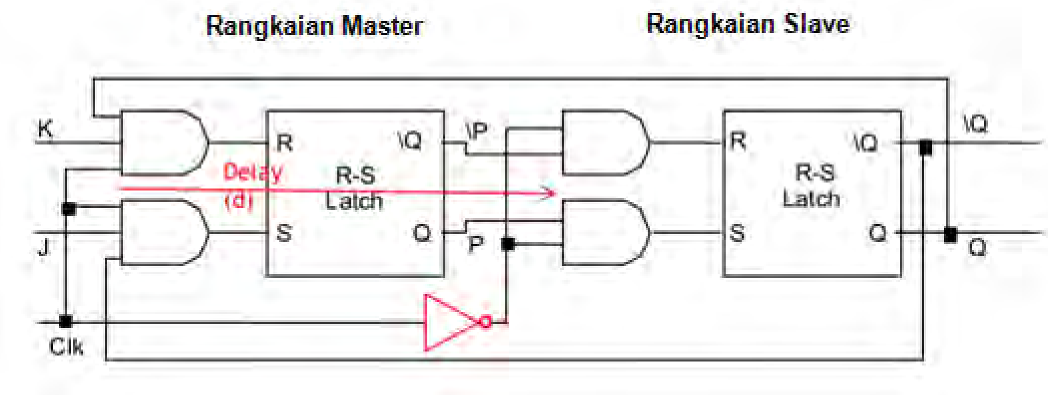
Gambar 4-6.15 TTL IC 7476 JK Flip-flop



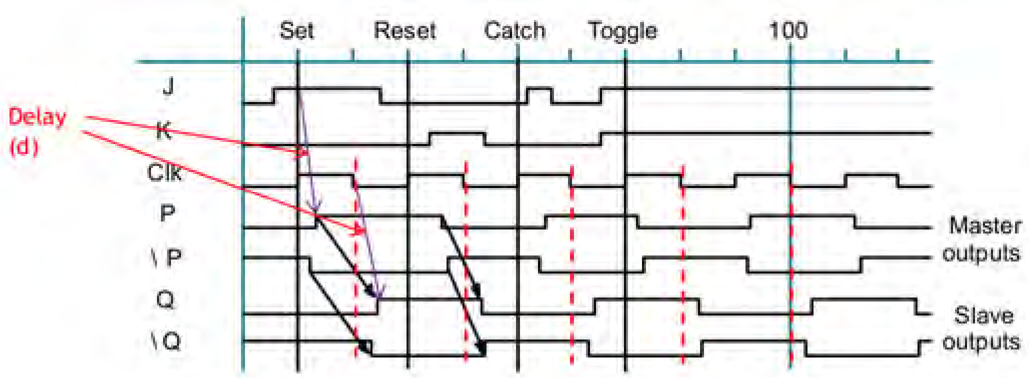
Gambar 4-6.16 JK Flip-flop dibangun dari SR FF dan gerbang dasar

Kerugian dari sebuah rangkaian RS Flip-Flop yaitu dalam hal kondisi yang tidak dapat ditentukan , ilegal yang dapat terjadi bila kedua masukannya = 1, hal ini tidak akan terjadi pada rangkaian JK Flip-Flop. Umpan balik dari masing-masing keluaran untuk melawan masukan, hal ini untuk mencegah S dan R menjadi 1 pada saat yang bersamaan. Data *output* akan bereaksi setelah pulsa *clock* dari *low* ke *high* (0 ke 1). Bila J dan K mendapatkan *input* "1" dan mendapatkan *clock*, maka disebut T Flip-Flop atau sebagai pembagi frekuensi dari *signal clock*.

Jenis yang lain dari JK Flip-flop adalah Master-*Slave*, prinsip kerjanya adalah rangkaian *slave* akan bekerja mengikuti rangkaian master, gambar rangkaian dapat dilihat pada gambar 4-6.17 di bawah ini:



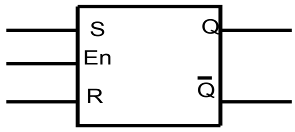
Gambar 4-5.18 JK Flip-flop Master-*Slave*



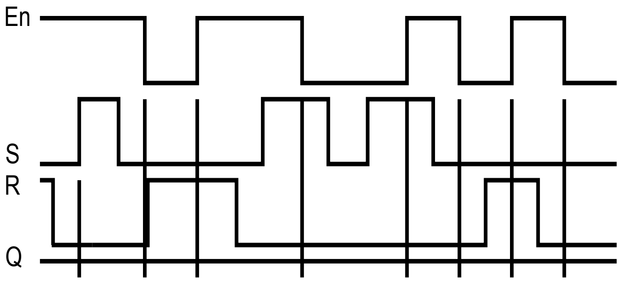
Gambar 4-5.19 Diagram Pulsa JK Flip-flop Master-*Slave*

Tugas 4.10. Analisa Rangkaian Flip-Flop

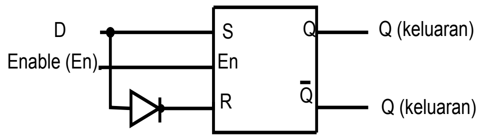
1. Amati *Timing* diagram pada SR FF, masukan S, R dan En *(Enable)* diberi isyarat digital di bawah ini Tentukan bentuk Diagram pulsa keluaran Q hasil dari flip-flop SR tersebut.

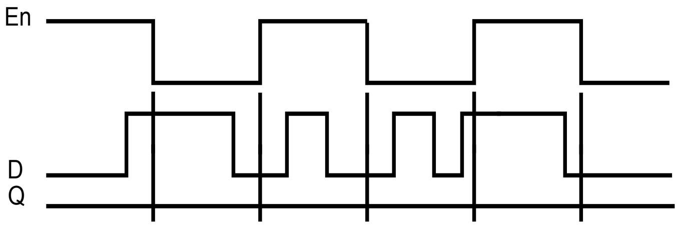


Symbol logika Flip-flof SR dengan sinyal kendali En *(Enable)/clock*

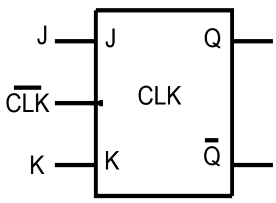


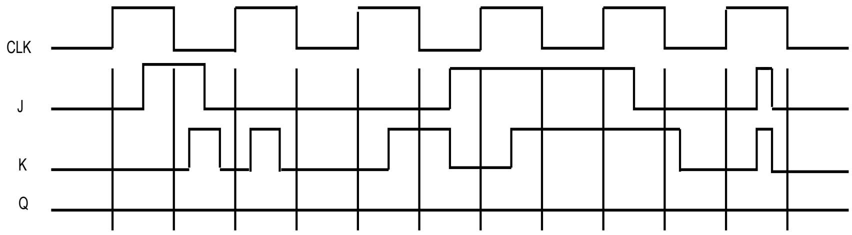
2. Pada masukan S, R dan En *(Enable)* diberi isyarat digital dengan bentuk Diagram pulsa adalah sepeti tampak pada gambar di bawah ini. Tentukan bentuk ragam gelombang keluaran Q hasil dari flip-flop SR tersebut.



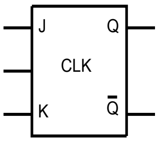


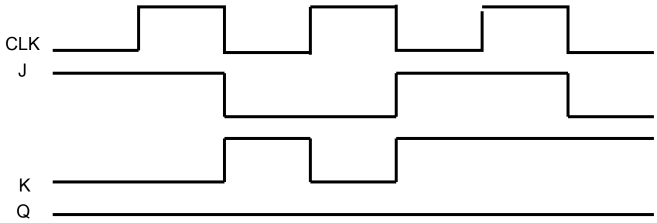
3. Pada JK Flip-flop JK master-*slave*, masukan J dan K, sinyal pendetak (*clock*) Clk, di beri isyarat digital dengan diagram pulsa seperti tampak pada gambar di bawah ini Tentukan bentuk diagram pulsa keluaran Q hasil Flip-flop tersebut. Jelaskan keadaan tiap-tiap perubahan diagram pewaktu.





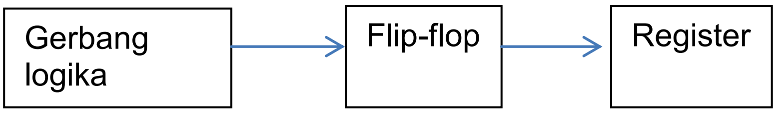
4. Pada JK Flip-flop JK master-*slave*, masukan J dan K, sinyal pendetak (*clock*) Clk, di beri isyarat digital dengan bentuk ragam gelombang seperti tampak pada gambar di bawah ini. Tentukan bentuk diagram pulsa keluaran Q hasil Flip-flop tersebut. Jelaskan keadaan tiap-tiap perubahan diagram pewaktu.





7. Rangkaian Register

Pada materi sebelumnya kalian telah mempelajari rangkain terkecil memori yaitu flip-flop. Permasalahannya flip-flop hanya dapat menyimpan data 1 bit, sedangkan data yang harus disimpan lebih banyak maka diperlukan suaru rangkaian yang dapat menyimpan data lebih dari 1 dikenal dengan istilah register. Dalam register, data biner yang tersimpan dapat menetap tatapi banyak juga register berfungsi menyimpan dan menggeser data biner untuk operasi hitungan.



Gambar 4-7.1 Rangkaian register terbentuk dari gerbang logika dan flip-flop

Register merupakan rangkaian flip-flop yang berfungsi sebagai memori untuk menyimpan data sementara dalam sistem digital. Register adalah suatu kumpulan flip-flop yang yang dapat secara bersama-sama menyimpan data biner. Beberapa tipe register sudah banyak dikemas dalam sebuah IC, sehingga dengan cepat dapat diaplikasikan.

Bagaimana cara kerja register geser?



Gambar 4-7.2 Ilustrasi data register

Coba amati gambar di atas,ya ini adalah kegiatan antri di suatu loket, itulah ilustrasi antrian data register untuk penyederhanaan pemahaman, pergeseran

data oleh register geser terjadi seperti suatu deretan orang yang berbaris satu persatu melewati pintu. Tiap orang dimisalkan sebuah biner . Satu sama lainnya tidak boleh saling mendahului. Tiap orang memiliki nama,alaamat dan identitas.

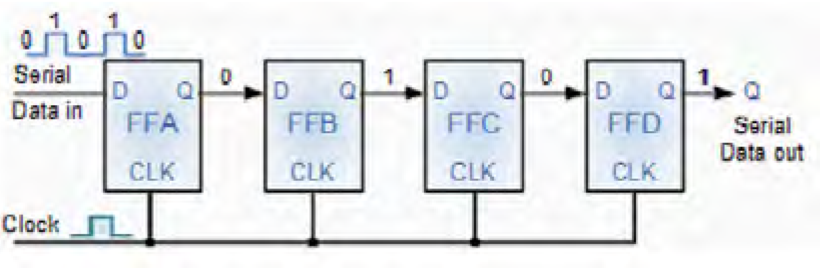
Begitu juga dengan data dia tudak hanya menetap disatu tempat tetapi dapat pindah ke tempat lain, perpindahan berdasarkan waktu. Pergeseran bit sangat penting dalam operasi aritmatika dan operasi logika yang dipakai dalam mikroprosesor (komputer).

a. Register Geser

1. SISO adalah singkatan (Serial *Input*-Serial *Output)* yang artinya masukan berurutan dan keluaran berurutan, contohnya register yang sering digunakan komunikasi data.

   IC Pembentuk : IC 74LS74

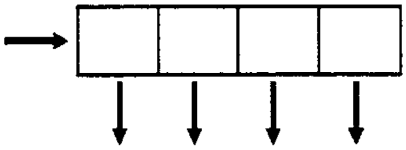
A\B	0	1
0	1	1
1	0	1



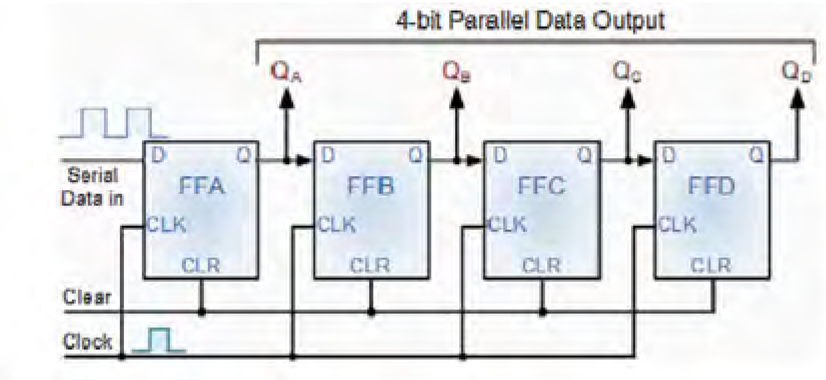
Gambar 4-7.2 Rangkaian SISO

2. SIPO adalah singkatan (Serial *Input*-Paralel *Output* yang artinya masukan berurutan keluaran serentak, contohnya register geser kiri dan register geser kanan

   IC Pembentuk : 74LS164

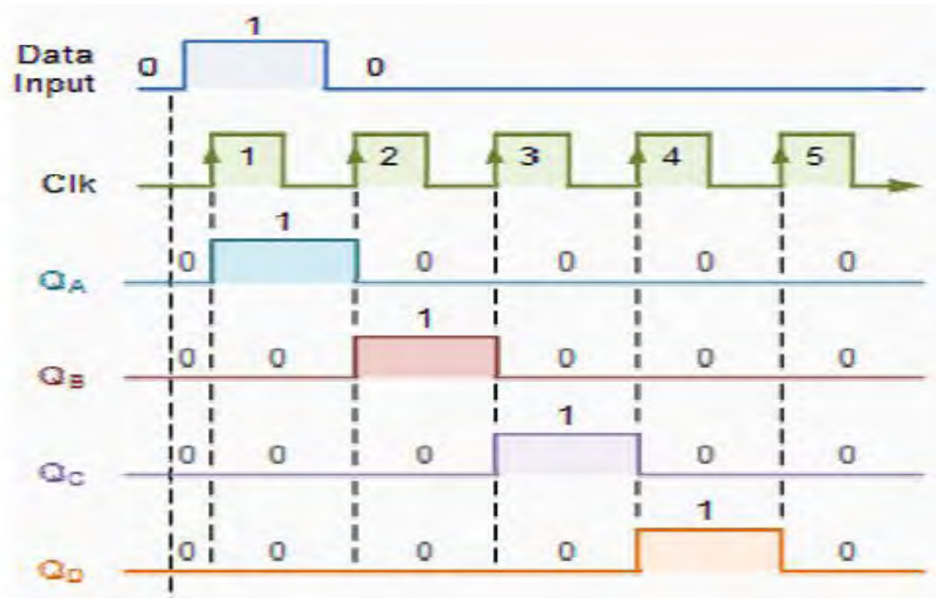


Serial Input - Parallel Output
(d)



Gambar 4-7.3 Rangkaian SIPO

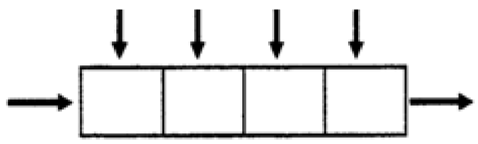
$$\overline{A} + B \cdot$$

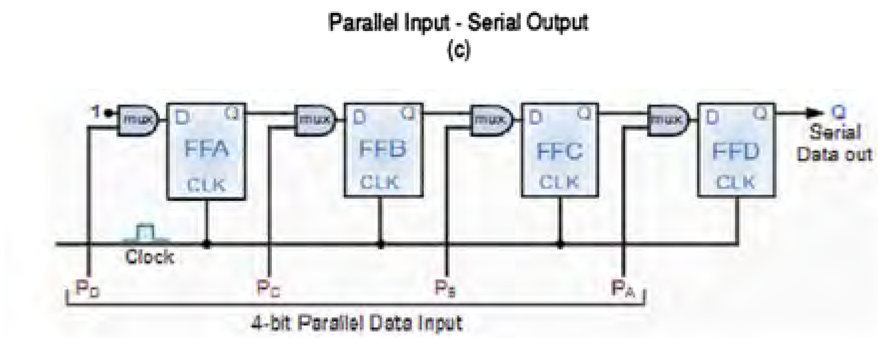


Gambar 4-7.4 Diagram Pulsa

3. PISO adalah singkatan (Paralel *Input*-Serial *Output*) yang artinya masukan serentak keluaran berurutan, contohnya register yang mengubah data serentak menjadi serial, dengan memasukkan data pada sinyal kendali S_D (set data).

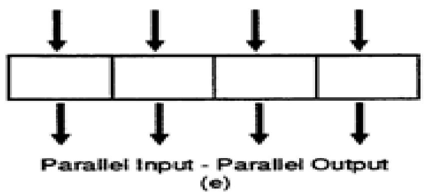
   IC Pembentuk : 74LS74 dan 74LS76

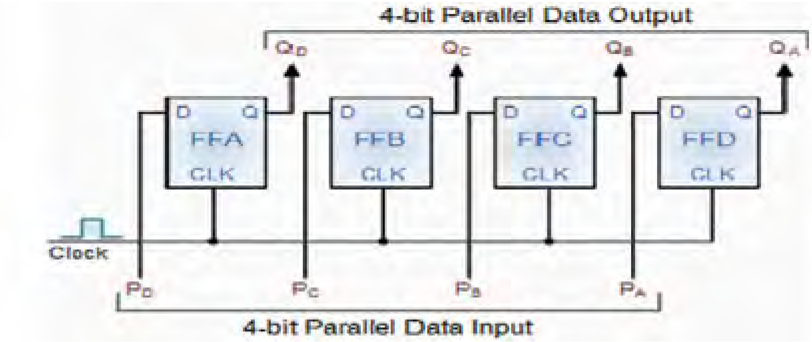




Gambar 4-7.5 rangkaian PISO

4. PIPO adalah singkatan (Paralel *Input*-Paralel *Output*) yang artinya masukan serentak keluaran serentak, contohnya *register buffer* dan *register buffer* terkendali.





Gambar 4-7.6 Rangkaian PIPO

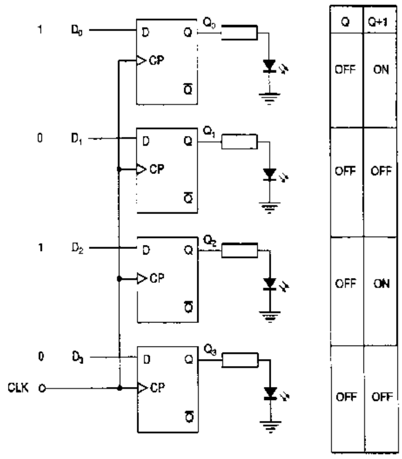
Tugas 4.11 Membuat pulsa diagram berdasarkan tabel kebenaran

Waktu	$\overline{MR}$	D_{sa}	D_{sb},	Q_o	Q_1	Q_2	Q_3
Inisialisasi	L	X	X	0	0	0	0
Setelah *Clock* 1.	H	H	H	1	0	0	0
Setelah *Clock* 2.	H	H	H	1	1	0	0
Setelah *Clock* 3.	H	H	H	1	1	1	0
Setelah *Clock* 4.	H	H	H	1	1	1	1

Tabel di atas merupakan tabel SISO, coba kalian gambarkan bagaimana *timing* diagram SISO, kalian amati gambar rangkaian dan tabel kebenaran serta *timing* diagram SIPO, dengan mempelajarinya kalian dapat membuat *timing* diagram SISO!

b. Register *Latch Enable*

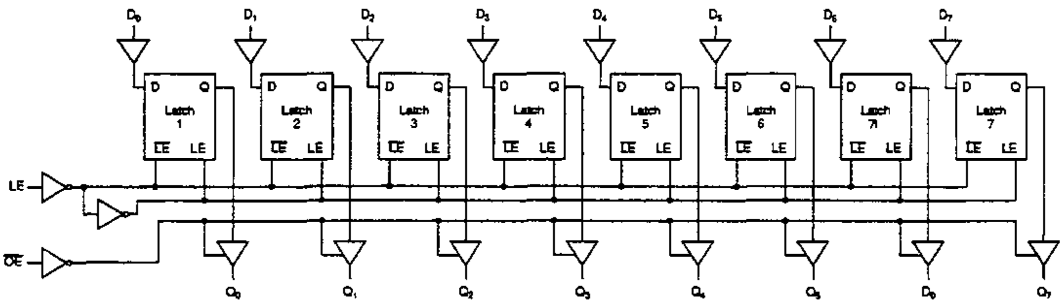
Gambar 4-6.7 merupakan Data *Latching Register* yang menggunakan D-FF (D *Latching* Flip-flop), berikut memberikan ilustrasi register 4-bit *latching* dimana *clock* disambungkan sacara parallel untuk setiap D-FF, dengan demikian saat *clock* pada kondisi *High* maka *output* mengikuti logika *input* dan saat *clock* berubah dari *High* ke *Low output* D-FF memegang kondisi logika *input* tersebut. Pada kondisi *clock Low* walaupun *input* datanya berubah-ubah tetap tidak berpengaruh terhadap *output*.



Gambar 4-7.7 Rangkaian D Latching Flip-flop

Dari gambar di atas dapat kita lihat bahwa *input* D_0 ….D_3 berisi data 0101, setelah *clock* maka pada Q_0….Q_3 berisi data yang sama dengan *input* yaitu 0101.

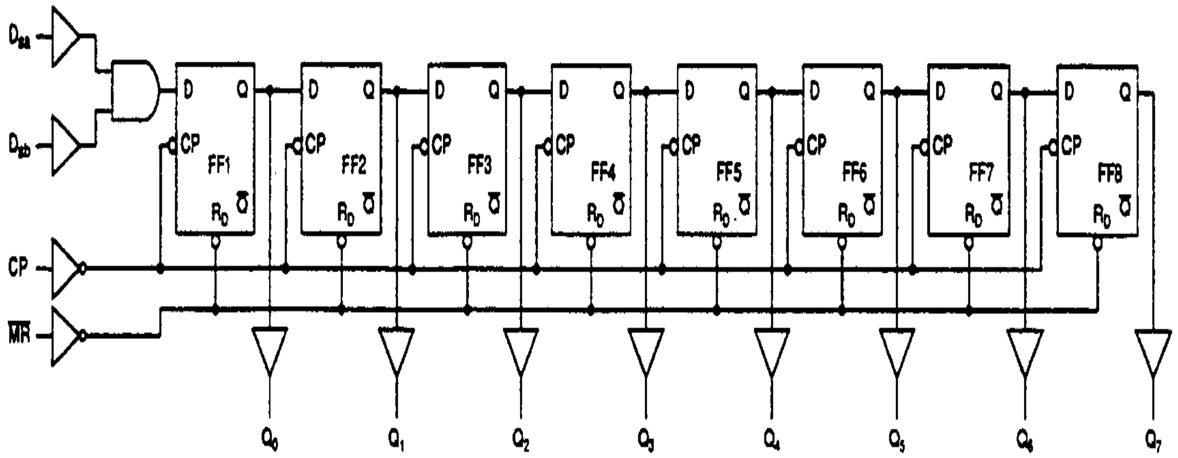
Sebagai contoh IC dengan tipe 74HCT373 merupakan register *latch* yang dilengkapi dengan *buffer input*, rangkaian D *latch* dan *tristate buffer output*. Pada IC ini juga dilengkapi dengan LE (*Latch Enable*) yang fungsinya untuk melakukan proses transfer dari *input* D_0 ….D_3 ke Q_0….Q_3 dan $\overline{QE}$ untuk mengeluarkan data dari Q_0….Q_3 ke *output* IC melalui *tristate buffer*.



Gambar 4-7.8 Rangkaian Register Latch dengan Buffer

Jika kita perhatikan register pada IC 74HCT373 dimana sistem *input* paralel dan *output* juga paralel (PIPO), sedangkan konstruksi dalam *Shift* register merupakan register dimana D-FF sebagai penyimpan data dihubungkan secara seri yaitu *output* D-FF1 dihubung ke *input* D-FF2 dan *output* D-FF2dihubungkan ke D-FF3 dan seterusnya.

shift register dan merupakan gambar rangkaian internal IC 74HCT164 yang dilengkapi dengan *buffer output* Q paralel, *saluran clock, reset*, dan data *input* Da serta Db secara serial (SIPO).



Gambar 4-7.9 Rangkaian IC Internal IC 74HCT164

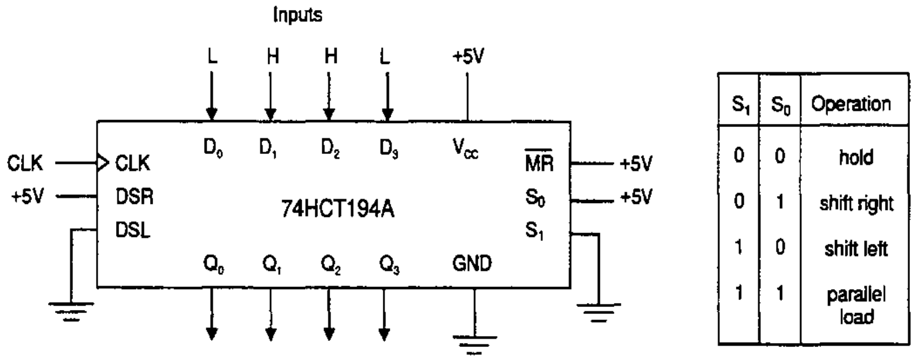
Dari gambar di atas pada saat ada *clock input*, maka data akan digeser secara seri pada register yaitu dari Q_0 ke Q_1, dari Q_1 ke Q_2 dst. Jadi register ini merupakan 8 bit register, bila dimasukan data melalui Da atau Db secara berturutan 8 kali *clock* secara serial digeser sampai bit data pertama menempati posisi Q_7 (MSB) dan bit data terakhir menempati Q_0 (LSB). Berdasar tabel di bawah fungsi $\overline{MR}$ adalah untuk inisialisasi agar semua *output* berlogika 0 (*Reset*). Tabel berikut menampilkan fungsi dari *shift* register (SIPO 8 bit), dimana data secara serial diberikan dan merupakan hasil logika kombinasi AND 11, 11, 11, 11, 01, 10, 11 dan 11 ternyata data baru bisa dibaca secara paralel pada *output* register saat *clock* yang ke 8 yaitu data terbaca Q_7……….Q_0 = (1111 0011)

Bila *output* diambil pada Q_7 maka data dapat dibaca secara serial, disini data mulai dikeluarkan saat data secara serial sudah direkam oleh register jadi jatuh pada *clock* ke 9. Operasi ini sering disebut dengan (SISO) yaitu *serial In* dan *Serial Out*.

c. Register Universal

Tipe IC 74HCT194 merupakan register dengan kemampuan geser kiri, geser kanan, transfer data serial dan paralel sinkron, master *reset* asinkron, mode *hold.* Dengan demikian IC ini dapat berfungsi sebagai (SISO), (PIPO), (SIPO) atau (PISO).

Berikut merupakan gambar pin IC 74HCT194 dan tabel kebenarannya:



Gambar 4-7.10 Register Universal

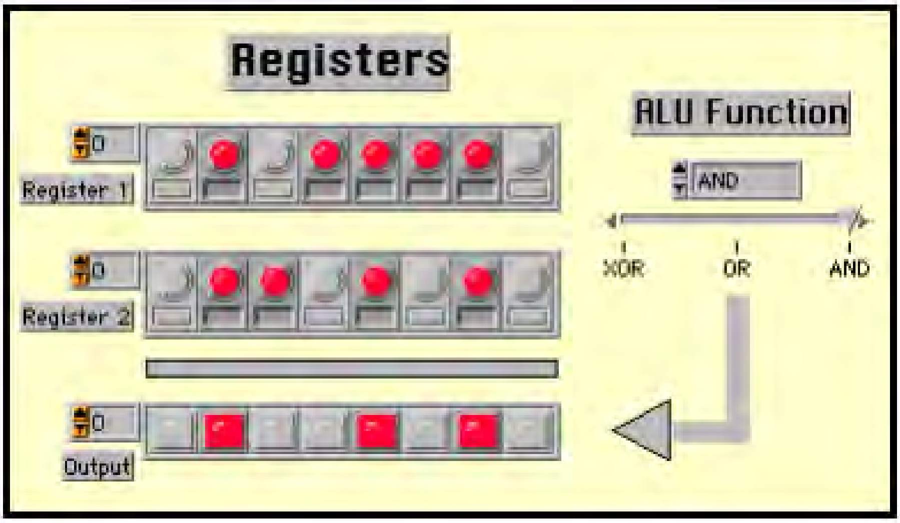
Tabel Register Universal

Mode Operasi	*Input*							*Output*			
	$\overline{CP}$	$\overline{MR}$	S_1	S_0	D_{SR}	D_{SL}	D_n	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3
Reset	X	L	X	X	X	X	X	L	L	L	L
Holding data	X	H	L	L	X	X	X	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3
Geser kiri		H H	H H	L L	X X	L H	X X				L H
Geser kanan		H H	L L	H H	L H	X X	X X	L H			
Input paralel		H	H	H	X	X					

Register universal biasanya digunakan untuk menggeser data dari kiri ke kanan atau sebaliknya dari kanan ke kiri, dapat juga sebagai SISO atau SIPO dapat menyimpan data sementara pada rangkaian Alu (*Aritmatic Logic Unit*) untuk perkalian atau pembagian.

Coba kalian amati gambar.... di bawah ini, rangkaian ini adalah rangkaian register yang berfungsi pada rangkaian ALU dengan perintah atau instruksi AND, register 1

harus di AND kan (perintah logika) dengan register 2, hasil dari instruksi tersebut dapat dilihat pada *output*.



Gambar 4-7.11 Register digunakan pada rangkaian Alu (*Aritmatik Logic Uni*)

B.Rangkuman

- sistem bilangan yang terdiri dari bilangan desimal, biner, oktal dan heksa desimal yang digunakan di dalam rangkaian digital. Pengubahan atau konversi bilangan diperlukan untuk memudahkan dalam aritmetika *logic*. Data yang diproses dalam digital umumnya dipresentasikan dengan menggunakan kode tertentu seperti BCD (*Binary Code Desimal*).
- Sistem digital disusun dari gerbang-gerbang logika dasar yaitu Gerbang AND, OR dan NOT. Gerbang-gerbang lainnya disebut gerbang NAND, gerbang NOR, gerbang OR-Eksklusif dan gerbang NOR-Eksklusif di sebut gerbang kombinasional. Teknologi yang membangun IC digital dikenal dengan istilah TTL,ECL, CMOS, DRL, DTL dan RTL.
- Pada persamaan digital seringkali ditemui rangkaian yang rumit sehingga dalam perancanganya memerlukan konsentrasi yang tinggi, dan penggunaan komponen yang banyak untuk mengefisienkan rancangan maka diperlukan penyederhanaan rangkaian yaitu dapat menggunakan hukum aljabar Boolean, teorema de-morga dan pemetaan dengan *Karnaught Map*.
- *Karnaugh-Veith Map* atau sering disingkat dengan KV-*Map*, merupakan cara untuk penyederhanaan suatu persamaan Boolean dengan tujuan untuk meminimisasi rangkaian logika dalam implementasinya.

- Rangkaian memori yang paling kecil dinamakan Flip-flop, ada beberapa jenis flip-flop diantaranya SR FF,D FF,T FF, dan JK FF.
- Rangkaian yang dapat menyimpan data dan menggeser data disebut dengan register.

C. Tugas Mandiri

1. Apa yang dimaksud dengan sinyal analog dan sinyal digital ?

2 Konversikan angka biner ke bilangan desimal ?

a.10100

b.100

c.101

d.1011

e.1000

3.Konversikan bilangan desimal ke angka biner ?

a.100 b.1024 c.65 d.78 e.255

4.*Hexadecimal* 3E6 =……$_{10}$

5.Desimal 391 = …….$_{8}$

6.Apakah kegunaan dari tabel kebenaran ?

7.Apakah kegunaan dari persamaan aljabar boole?

8.Apakah kegunaan dari diagram perwaktuan/*Timing* diagram ?

9.Bagaimanakah caranya supaya gerbang AND dapat digunakan sebagai saklar digital ?

10.Berapa jumlah masukan yang dapat dimiliki oleh suatu gerbang logika ?

11.Jelaskan mengapa flip-flop SR disebut asinkron sedangkan flip-flop SR dengan GATE disebut sinkron ?

12.Apakah fungsi sinyal kendali *gated* pada flip-flop SR dengan gerbang (*gated*) ?

13.Bagaimanakah caranya men-*set* dan me-*reset* suatu flip-flop SR ?

14.Berapakah jumlahnya flip-flop D atau penahan D dalam suatu IC 7475 ?

15.Mengapa IC 7474 disebut dengan piranti pemicuan tepi?

16.Jelaskan apakah yang dimaksud dengan flip-flop JK MS?

17.Bagaimanakah caranya men-*set* dan me-*reset* suatu flip-flop JK MS ?

18. Bagaimanakah caranya membuat *toggle* suatu flip-flop JK MS ?

19.Apakah maksudnya flip-flop JK MS dapat bekerja secara asinkron dan sinkron ?

20.Bagaimanakah cara menjalankan flip-flop pada IC 7476 supaya bekerja pada mode operasi *toggle* ? jelaskan dengan diagram pewaktuan?

D. **Tugas Praktek**

1. JUDUL : RANGKAIAN NOT (*INVERTER*)

2. TUJUAN :

1. Mengenal dasar logika dari gerbang NOT yang dibuat dari Transistor dan Resistor sebagai dasar dari TTL (transistor-taransistor *Logic*)
2. Mengenal dasar logika gerbang NOT dari IC (*Integrated Circuit*)
3. Menentukan tabel kebenaran

3. PERALATAN DAN BAHAN

1. *Trainer digital experimenter*
2. IC SN 7400
3. Resistor 1 K Ohm (Rc)
4. Resistor 4K7 Ohm (Rb)
5. Transistor 2N2222A NPN (Q1)
6. Resistor 150Ω atau 330Ω
7. *Logic Probe*
8. Kabel Praktikum

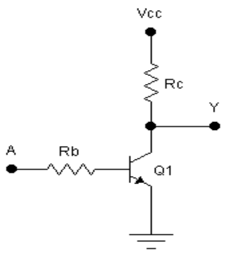
Keterangan

Kondisi *High* = 1 = 5VDC,

Low = 0 = 0VDC

4. PROSEDUR PRAKTIKUM 1

1. Rangkailah rangkaian NOT dengan Transistor dan resistor pada gambar rangkaian di bawah ini :



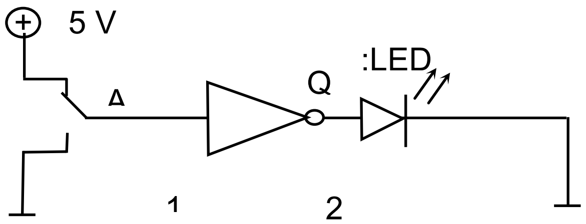
2. Hubungkan VCC dengan 5 Volt DC
3. Hubungkan poin A dengan *Switch*

4. Hubungkan poin Y dengan Multimeter
5. Ukurlah tegangan pada poin Y pada saat *switch* *ON* *(High)* atau *OFF* (*Low*)
6. Tuliskan hasil pengukuran pada tabel di bawah ini

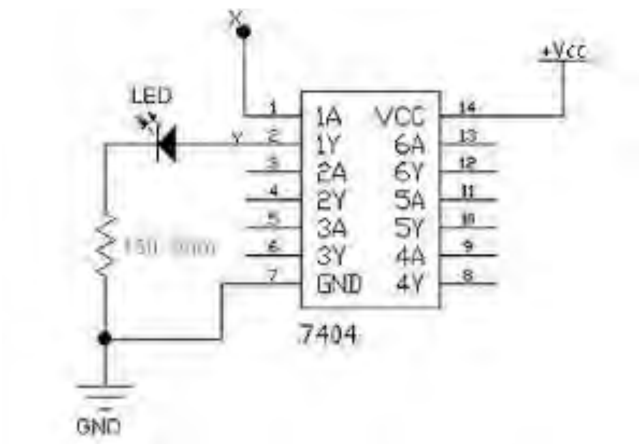
Input A	*Output* Y
ON ((High)	
OFF (Low)	

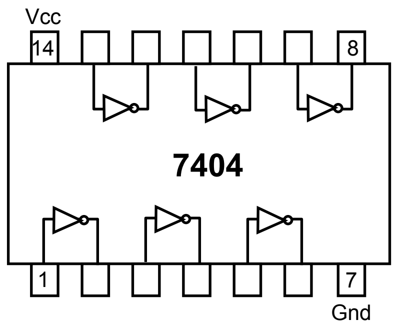
5. PROSEDUR PRAKTIKUM 2

1. Buatlah rangkaian pada trainer sesuai dengan gambar berikut!



2. Buatlah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!
   - Hubungkan poin A *switch* ke pin 1
   - Hubungkan pin 2 ke LED
   - Hubungkan pin 14 ke sumber VCC 5 VDC
   - Hubungkan pin 7 ke *Ground*





Gb. Blok IC 7404

2.Hubungkan pin 1 pada kaki IC 7404 dengan *Switch* sebagai *input*

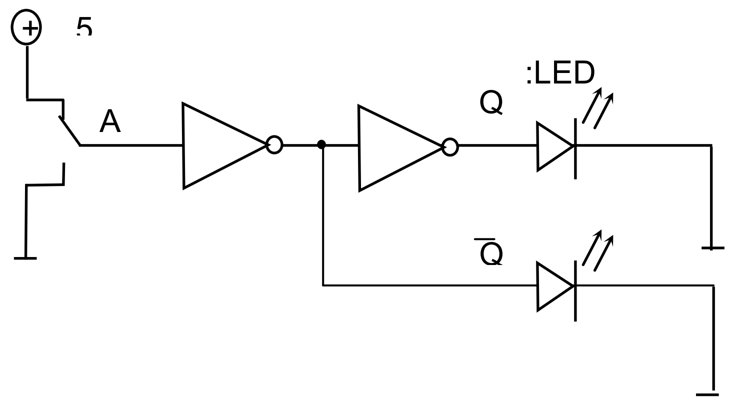
3.Hubungkan pin 2 pada kaki IC 7404 dengan LED sebagai *output*

4. Coba rangkaikan dan buat tabel kebenaran dari rangkaian di atas!

TABEL KEBENARAN

Input A	*Output* Q
0	
1	

5. Buat dan cobalah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!



TABEL KEBENARAN

Input A	*Output* Q	*Output* $\overline{Q}$
0		
1		

4. Tuliskan fungsi logika untuk gerbang NOT!
5. Gambarkan diagram pulsa dan rangkaian persamaan listrik dari gerbang NOT!

6. KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN GERBANG AND

2. TUJUAN :

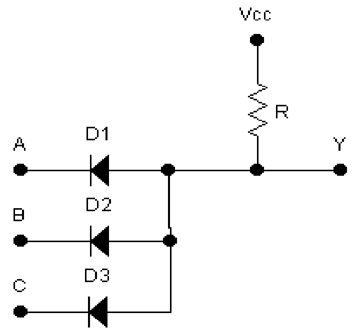
1. Mengenal dasar logika dari gerbang AND yang dibuat dari Dioda dan Resistor sebagai dasar dari DTL (Dioda-transistor *Logic*)
2. Mengenal dasar logika dari gerbang AND IC (*Integrated Circuit*)
3. Menentukan tabel kebenaran

3.PERALATAN:

- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 3 buah Diode 1N4148
- 1 buah Resistor 1 K Ω (Rc)
- 1 buah Resistor 150Ω atau 330Ω
- 1 buah IC SN 7408
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

4. PROSEDUR PRAKTIKUM

Rangkailah rangkaian AND dengan Transistor dan resistor pada gambar rangkaian di bawah ini :

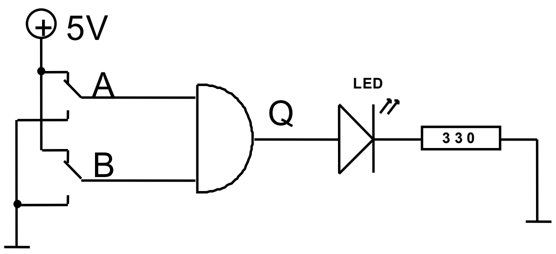


1. Hubungkan VCC dengan 5 Volt DC
2. Hubungkan poin A dengan *Switch ON (High)* atau *OFF (Low)*
3. Hubungkan poin B dengan *Switch ON (High)* atau *OFF (Low)*
4. Hubungkan poin C dengan *Switch ON (High)* atau *OFF (Low)*
5. Hubungkan poin Y dengan Multimeter *ON (High)* atau *OFF (Low)*
6. Ukurlah tegangan pada poin Y pada saat *switch ON (High)* atau *OFF (Low)*

Input A	*Input* B	*Input* C	*Output* Q
Low	*Low*	*Low*	
Low	*Low*	*High*	
Low	*High*	*Low*	
Low	*High*	*High*	
High	*Low*	*Low*	
High	*Low*	*High*	
High	*High*	*Low*	
High	*High*	*High*	

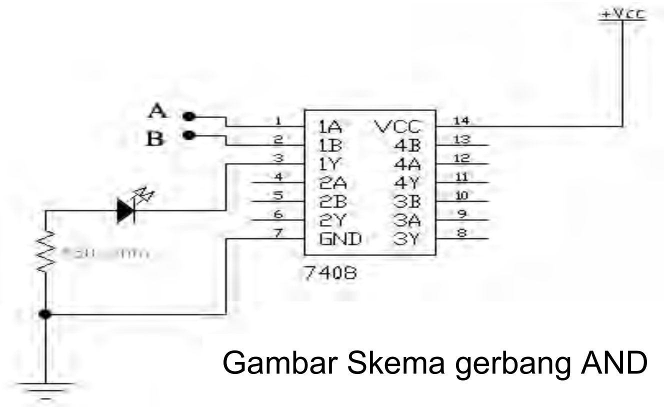
5. GERBANG AND

1.Buatlah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!

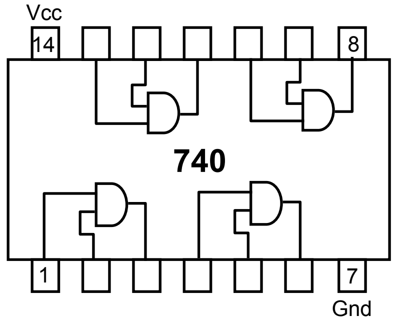


C. Hubungkan Point A *switch* ke pin 1

- Hubungkan poin B *switch* ke pin 2
- Hubungkan pin 3 ke LED
- Hubungkan pin 14 ke sumber VCC 5 VDC
- Hubungkan pin 7 ke *Ground*

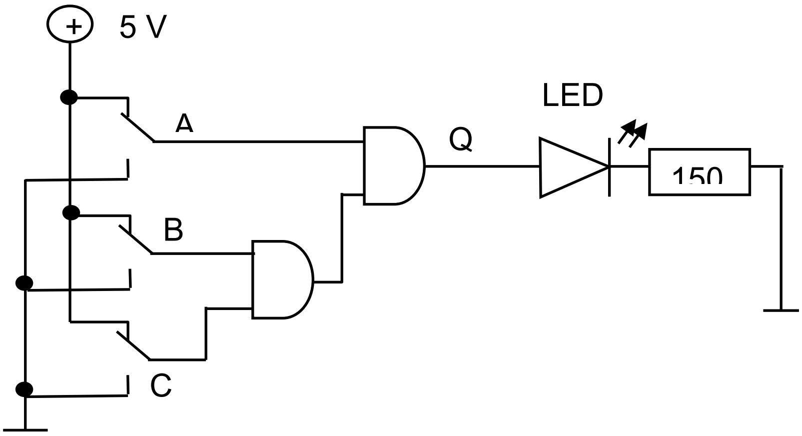


Gambar Skema gerbang AND



Gb. Blok IC 7408

1. Coba rangkaian dan buat tabel kebenaran dari rangkaian di atas
2. Buat dan cobalah rangkaian gerbang AND dengan 3 *input* pada *trainer*!



3. Tuliskan persamaan Aljabar Boole untuk gerbang AND 2 *input* dan 3 *input*!
4. Gambarkan diagram pulsa dan rangkaian persamaan listrik dari gerbang AND!

6. KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN DASAR GERBANG OR

2. TUJUAN :

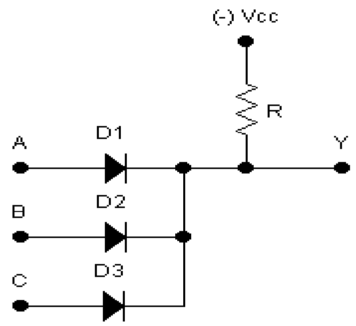
1. Mengenal dasar logika dari gerbang OR yang dibuat dari Dioda dan Resistor sebagai dasar dari DTL (Dioda -taransistor *Logic*)
2. Mengenal dasar logika dari gerbang OR IC (*Integrated Circuit*)
3. Menentukan tabel kebenaran

3. PERALATAN:

- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 3 buah Diode 1N4148
- 1 buah Resistor 1 K Ohm (Rc)
- 1 buah Resistor 150Ω atau 330Ω
- 1 buah IC SN 7432
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

4. PROSEDUR PRAKTIKUM

1. Buatlah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!



2 .Hubungkan VCC dengan 5 Volt DC

3 .Hubungkan poin A dengan *Switch ON (High)* atau *OFF (Low)*

4. Hubungkan poin B dengan *Switch ON (High)* atau *OFF (Low)*

5. Hubungkan poin C dengan *Switch ON (High)* atau *OFF (Low)*

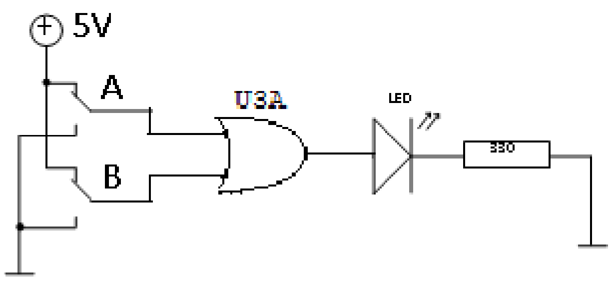
6. Hubungkan poin Y dengan Multimeter *ON (High)* atau *OFF (Low)*

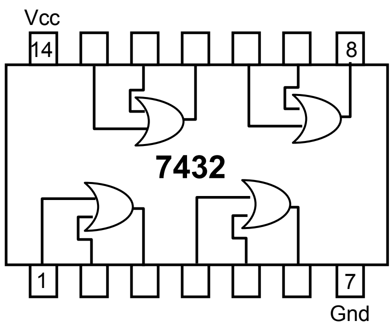
7. Ukurlah tegangan pada poin Y pada saat *Switch ON (High)* atau *OFF (Low)*

Input A	*Input* B	*Input* C	*Output* Q
Low	*Low*	*Low*	
Low	*Low*	*High*	
Low	*High*	*Low*	
Low	*High*	*High*	
High	*Low*	*Low*	
High	*Low*	*High*	
High	*High*	*Low*	
High	*High*	*High*	

5. GERBANG OR DENGAN IC

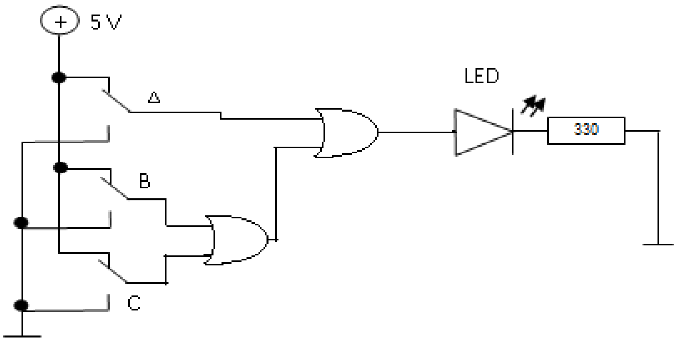
- Buatlah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!
- Hubungkan poin A *switch* ke pin 1
- Hubungka poin B *switch* ke pin 2
- Hubungkan pin 3 ke LED
- Hubungkan pin 14 ke sumber VCC 5 VDC
- Hubungkan pin 7 ke *Ground*





Gb. Blok IC 7432

2. Coba rangkaian dan buat tabel kebenaran dari rangkaian di atas!
3. Gambarkan skema rangkaian gerbang OR
3. Buat dan cobalah rangkaian gerbang OR dengan 3 *input* pada *trainer*!



4. Tuliskan persamaan Aljabar Boole untuk gerbang OR 2 *input* dan 3 *input*!
5. Gambarkan diagram pulsa dan rangkaian persamaan listrik dari gerbang OR!

5. KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN DASAR GERBANG NOR

2. TUJUAN :

1. Mengenal dasar logika dari gerbang NOR IC (*Integrated Circuit*)
2. Menentukan tabel kebenaran

3. PERALATAN:

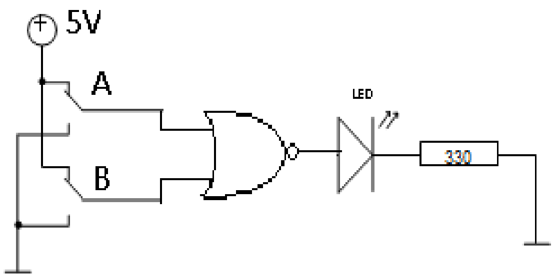
- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 3 buah Diode 1N4148
- 1 buah Resistor 1 K Ohm (Rc)
- 1 buah .Resistor 150Ω atau 330Ω
- 1 buahC SN 7402
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

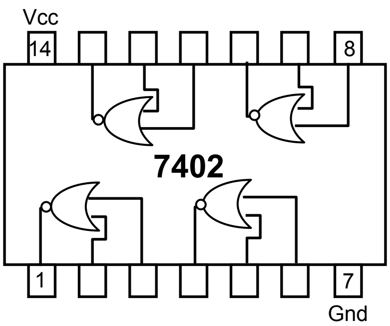
4. PROSEDUR PRAKTIKUM

1.Buatlah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!

Hubungkan poin A *switch* ke pin 2

- Hubungka poin B *switch* ke pin 3
- Hubungkan pin 1 ke LED
- Hubungkan pin 14 ke sumber VCC 5 VDC
- Hubungkan pin 7 ke *Ground*





Gb. Blok IC 7402

2. Coba rangkaian dan buat tabel kebenaran dari rangkaian di atas!
3. Buat dan cobalah rangkaian gerbang NOR dengan 3 *input* pada *trainer*!
4. Tuliskan persamaan Aljabar Boole untuk gerbang NOR 2 *input* dan 3 *input*!

5. Gambarkan diagram pulsa dan rangkaian persamaan listrik dari gerbang NOR!

6 .KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN DASAR GERBANG EXOR

2. TUJUAN :

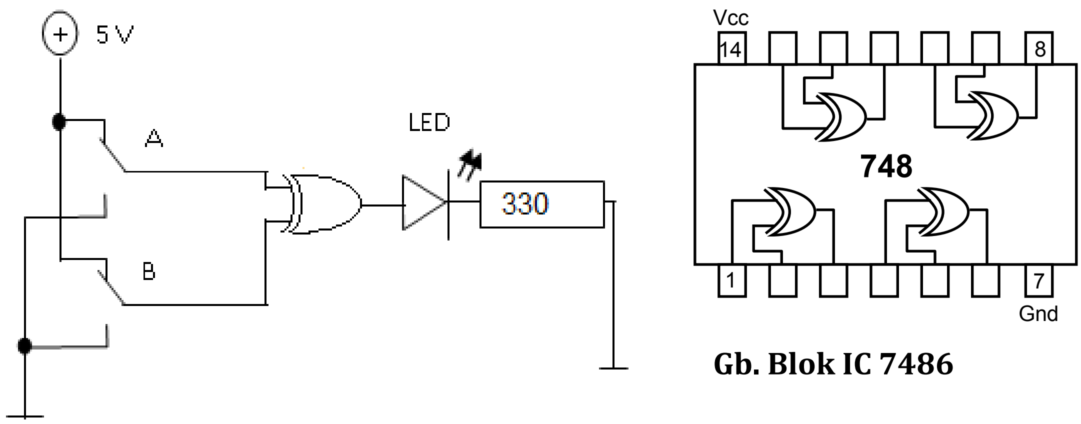
1. Mengenal dasar logika dari gerbang EXOR IC *(Integrated Circuit*)
2. Menentukan tabel kebenaran

3. PERALATAN DAN BAHAN:

- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 1 buah IC SN 7486
- 1 buah Resistor 150Ω atau 330Ω
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

4. PROSEDUR PRAKTIKUM 1

1. Buatlah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!
   - Hubungkan poin A *switch* ke pin 1
   - Hubungka poin B *switch* ke pin 2
   - Hubungkan pin 3 ke LED
   - Hubungkan pin 14 ke sumber VCC 5 VDC
   - Hubungkan pin 7 ke *Ground*



Gb. Blok IC 7486

2. Coba rangkaian dan buat tabel kebenaran dari rangkaian di atas!
3. Tuliskan persamaan Aljabar Boole untuk gerbang EXOR!
4. Gambarkan diagram pulsa dan rangkaian persamaan listrik dari gerbang EXOR!

KESIMPULAN

1.JUDUL : RANGKAIAN DASAR GERBANG EXNOR

2. TUJUAN :

1. Mengenal dasar logika dari gerbang EXNOR IC (*Integrated Circuit*)
2. Menentukan tabel kebenaran

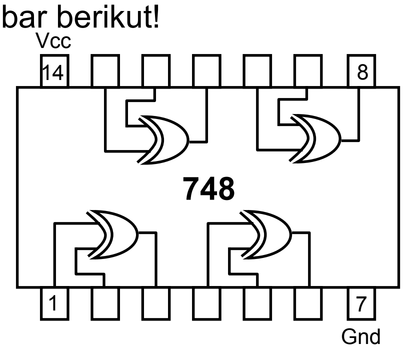
3. PERALATAN:

- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 1 buah IC SN 7486
- 1 buah IC SN 7404
- 1 buah *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

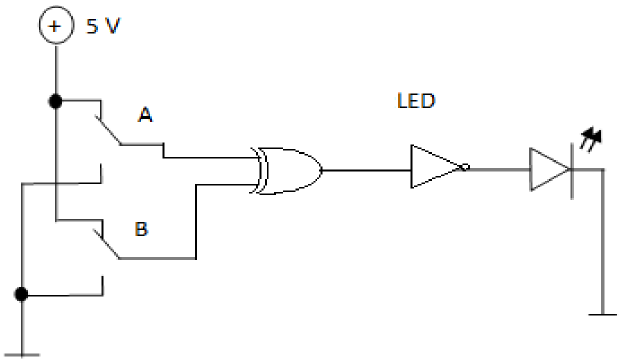
4. PROSEDUR PRAKTIKUM 1

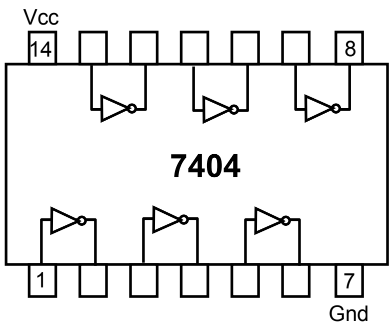
1. Buatlah rangkaian pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut!

- Hubungkan poin A *switch* ke pin 1
- Hubungka poin B *switch* ke pin 2
- Hubungkan pin 3 ke pin 1 IC 7404
- Hubungkan pin 2 IC 7404 ke LED
- Hubungkan pin 14 ke sumber VCC 5 VDC
- Hubungkan pin 7 ke *Ground*



Gb. Blok IC 7486





Gb. Blok IC 7404

2. Coba rangkaian dan buat tabel kebenaran dari rangkaian di atas!

3. Tuliskan persamaan Aljabar Boole untuk gerbang EXOR!

4.Gambarkan diagram pulsa dan rangkaian persamaan listrik dari gerbang EXOR!

6. KESIMPULAN

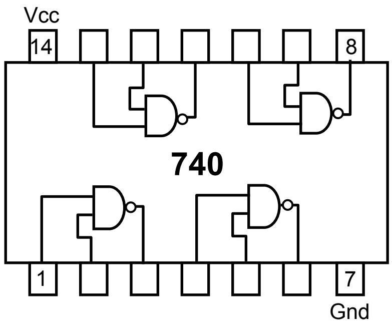
1. Judul : ‘NAND’ SEBAGAI GERBANG UNIVERSAL

2. Tujuan :

a. Membuat fungsi gerbang dasar dengan menggunakan gerbang „NAND‟.
b. Menentukan tabel kebenaran secara eksperimen dari masing-masing rangkaian.
c. Menunjukkan fungsi „NAND‟ menggantikan fungsi gerbang yang merupakan gerbang „Universal‟.

3. Peralatan :

- *Trainer digital experimenter*
- IC SN 7400 2 buah
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum



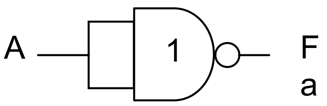
Gb. Blok IC 7400

4. Prosedur Praktikum :

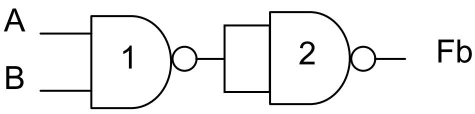
1. Buatlah rangkaian seperti pada rangkaian percobaan dari a sampai dengan h
2. Buatlah tabel kebenaran dari tiap percobaan

2. Rangkaian Percobaan :

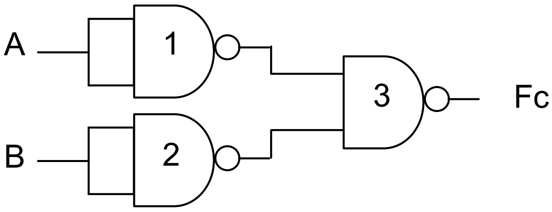
a.



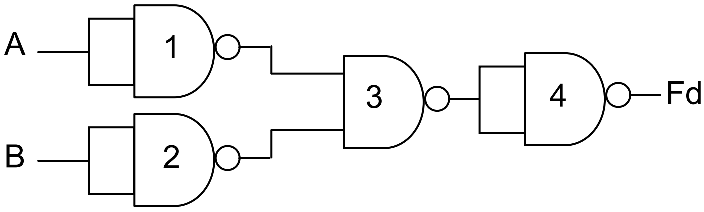
b.



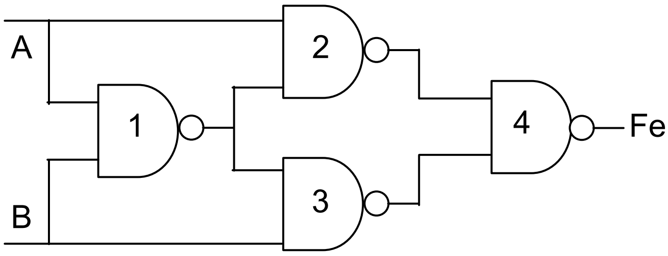
c.


A
B
1
2
3
Fc

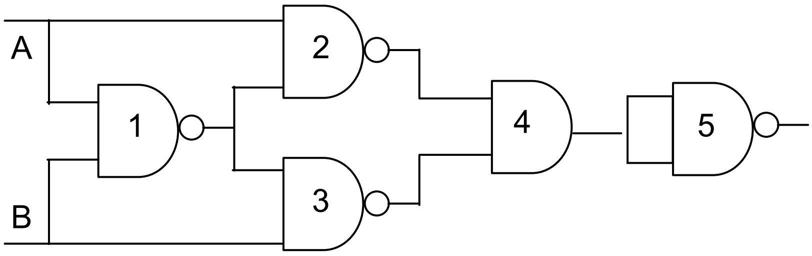
d.


A
B
1
2
3
4
Fd

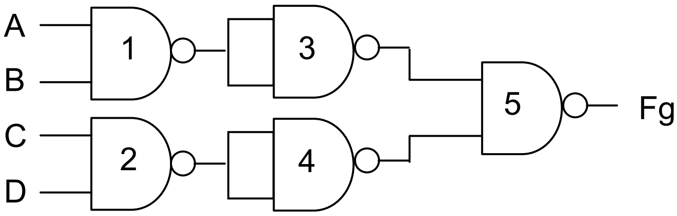
e.


A
B
1
2
3
4
Fe

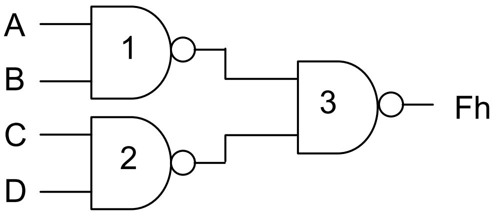
f.


A
B
1
2
3
4
5

g.


A
B
C
D
1
2
3
4
5
Fg

h.


A
B
C
D
1
2
3
Fh

3. Tugas :

a. Buatlah rangkaian gerbang „NAND‟ 4 masukan dengan gerbang „NAND‟ dua masukan saja.
b. Buatlah rangkaian „EXOR‟ 3 masukan dengan gerbang „NAND dua masukan saja.

4. **KESIMPULAN**

1. Judul : RANGKAIAN KOMBINASIONAL

2. Tujuan :

a. Mengobservasi rangkaian kombisional yang sederhana dengan benar.

b. Mampu memperantarakan gerbang-gerbang logika untuk membentuk suatu sistem.

3. Peralatan :

- *Trainer digital experimenter*
- IC SN 7404
- IC 7432
- IC 7408
- IC 7486
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

4. Prosedur Praktikum :

a. Rangkailah rangkaian gerbang sesuai dengan gambar rangkaian

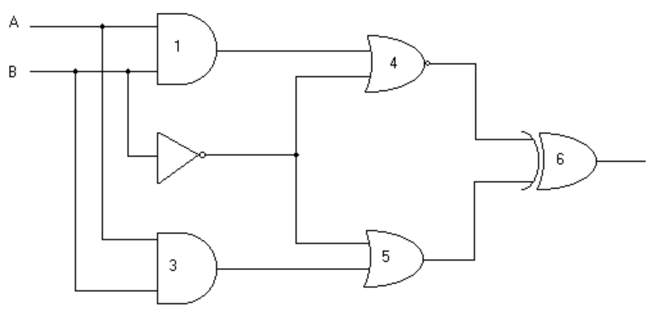
b. Amatilah keluaran kombinasi gerbang tersebut dan buatlah tabel kebenarannya

c. Analisalah kombinasi gerbang tersebut dan simpulkan percobaan anda

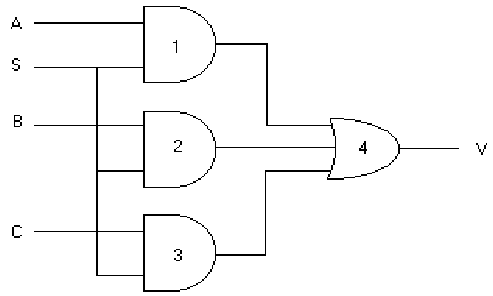
d. Ulangilah prosedur „a‟hingga‟c‟untuk rangkaian yang lain

5. Rangkaian Percobaan:

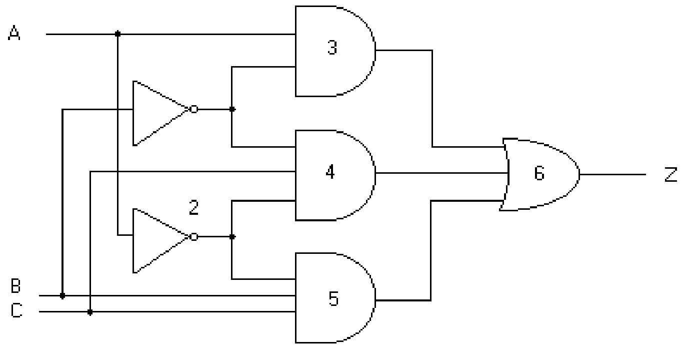
a.



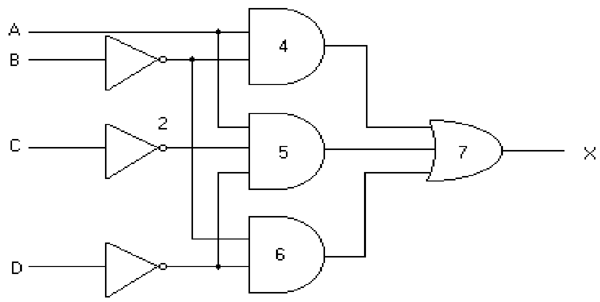
b.


A
S
B
C
1
2
3
4
V

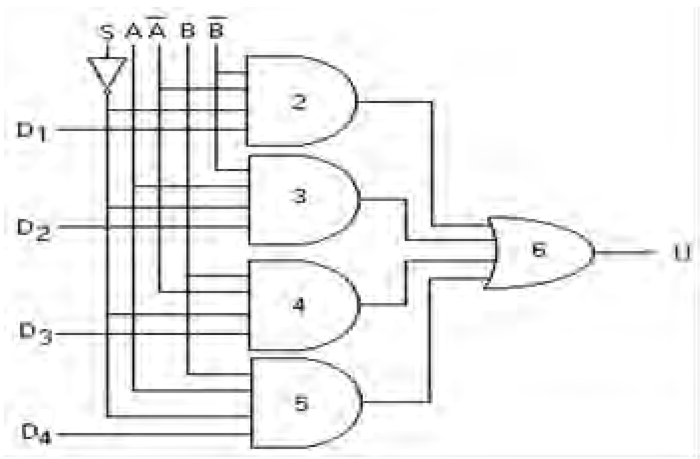
c.


A
B
C
2
3
4
5
6
Z

d.


A
B
C
D
2
4
5
6
7
X

e.


S A $\overline{A}$ B $\overline{B}$
D_1
D_2
D_3
D_4
2
3
4
5
6
U

6. Tugas

1. Buatlah rangkaian digital kombinasi dari tabel kebenaran berikut ini :

a.

A	B	C	D	F
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

b.

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

2. Buatah rangkaian digital dari fungsi berikut ini

   a. $\overline{A}A+\overline{A}B+\overline{A}B+\overline{B}B$

   b. $(\overline{X}+Y).\ \overline{Z}+\overline{XY}$

3. Buatlah rangkaian digital dari

   a. f(x,y,z) = Σm(0,3,4,5,7)

   b. f(x,y,z) = Σm(1,4,5)

4. Buatlah rangkaian digital dari K-*map* berikut ini

   a.

B \ A	$\overline{A}$	A	
$\overline{B}$	0	0	$\overline{C}$
$\overline{B}$	0	1	C
B	1	1	C
B	0	1	$\overline{C}$

   b.

CD \ AB	$\overline{A}$	$\overline{A}$	A	A	
$\overline{C}$	0	0	1	0	$\overline{D}$
$\overline{C}$	0	0	1	0	D
C	1	0	1	1	D
C	1	0	1	1	$\overline{D}$
	$\overline{B}$	B	B	$\overline{B}$	

7.KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN SEKUENSIAL RS FLIP-FLOP

2.TUJUAN :

a. Mengobservasi rangkaian Sekuensial Flip-flop
b. Mendemonstrasikan operasi dan fungsi karakteristik RS-Flip flop
c. Mendemonstrasikan operasi RS-Flip flop sebagai saklar *debouncing*
d. Mendemonstrasikan operasi *Cloked* RS-Flip flop

3. PERALATAN DAN BAHAN :

- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 1 buah IC SN 7400
- 1 buah IC 7402
- 1 buah IC 7432
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

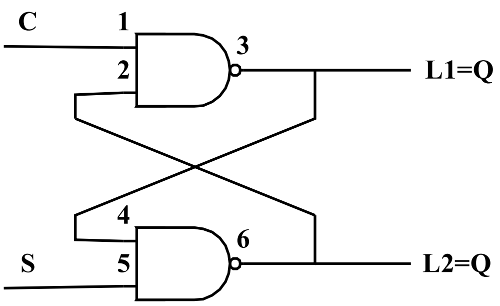
4. PROSEDUR PRAKTIKUM :

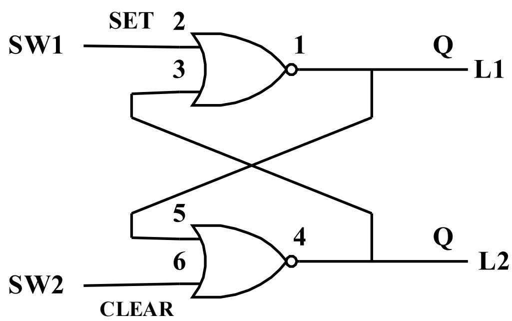
a. Rangkailah rangkaian gerbang sesuai dengan gambar dan skema rangkaian
b. Amatilah keluaran kombinasi gerbang tersebut dan buatlah tabel kebenarannya
c. Analisalah rangkaiaan flip-flop dari gerbang NAND dan gerbang NOR
d. simpulkan percobaan anda
e. Ulangilah prosedur „a"hingga"c"untuk rangkaian yang lain

5. RANGKAIAN PERCOBAAN:

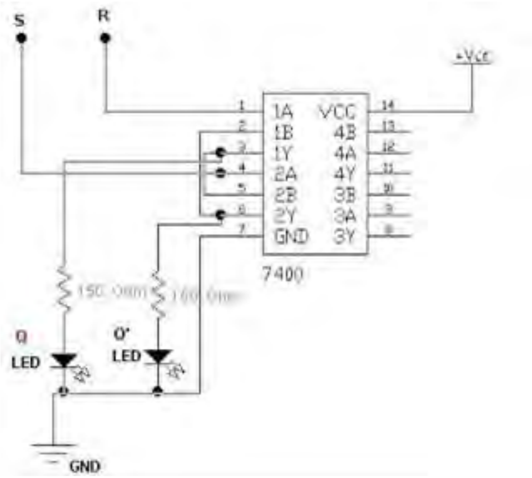
a. Pada tugas praktik ini anda diharapkan dapat:

. Buatlah rangkaian RS-Flip flop pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut, dengan menggunakan komponen IC 74HCT00 dan 74HCT02.

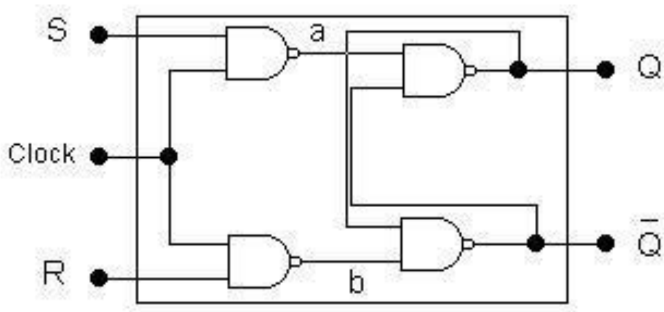




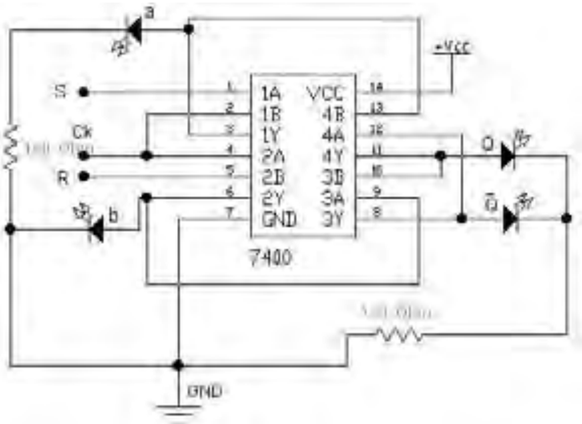
b. Skema rangkaian RS Flip-flop



c. Gambar rangkaian RS FF dengan *Clock*



d. Skema rangkaian RS Flip-Flop dengan *clock*



6. KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN SEKUENSIAL D FLIP-FLOP

3. TUJUAN :

a. Mengobservasi rangkaian Sekuensial Flip-flop

b. Mendemonstrasikan operasi dan fungsi karakteristik D-Flip flop

c. Mendemonstrasikan operasi D-Flip flop sebagai saklar *debouncing*

d. Mendemonstrasikan operasi *Cloked* D-Flip flop

4. PERALATAN :

1. *Trainer digital experimenter*
2. IC SN 7400
3. IC 7404
4. Resistor 150Ω atau 330 Ω 2 buah
6. *Logic Probe*
7. Kabel Praktikum

5. PROSEDUR PRAKTIKUM :

a. Rangkailah rangkaian gerbang sesuai dengan gambar rangkaian

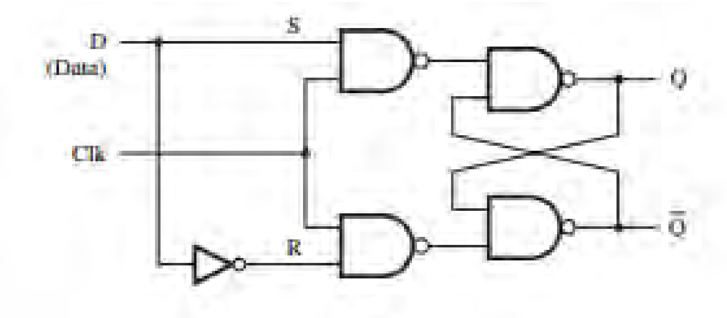
b. Amatilah keluaran kombinasi gerbang tersebut dan buatlah tabel kebenarannya

c. Analisalah rangkaian RS flip-flop dari gerbang NOT dan NAND

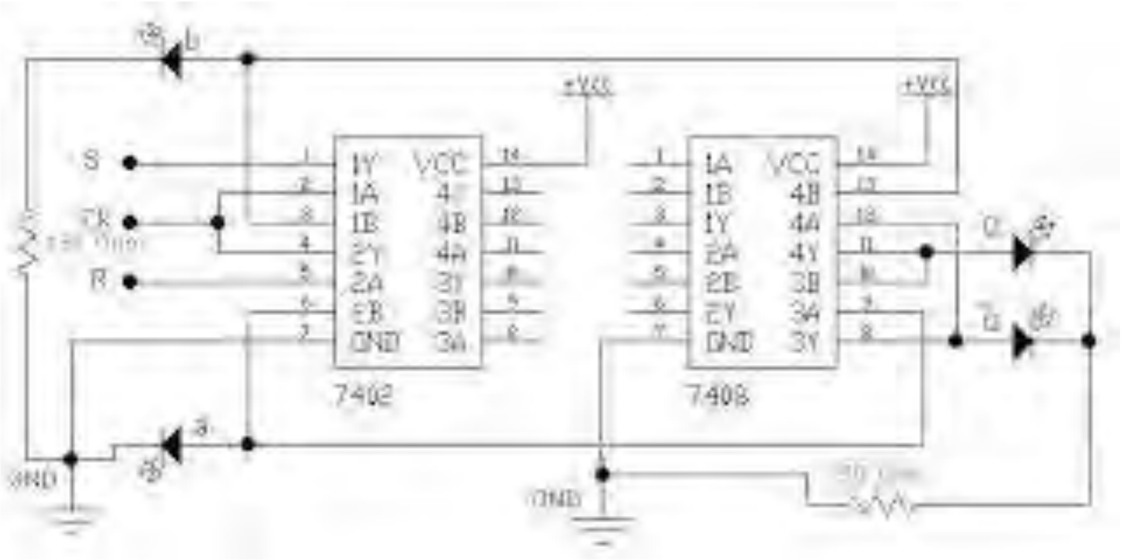
d. simpulkan percobaan anda

6. RANGKAIAN PERCOBAAN:

a. Buatlah rangkaian RS-Flip flop pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut, dengan menggunakan komponen IC 74HCT00 dan 74HCT02.



b. Skema rangkaian



7. KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN SEKUENSIAL JK FLIP-FLOP

2. TUJUAN :

a. Mengobservasi rangkaian Sekuensial Flip-flop
b. Mendemonstrasikan operasi dan fungsi karakteristik JK-Flip flop
c. Mendemonstrasikan operasi JK -Flip flop sebagai saklar *debouncing*
d. Mendemonstrasikan operasi *Cloked* JK-Flip flop

3. PERALATAN DAN BAHAN

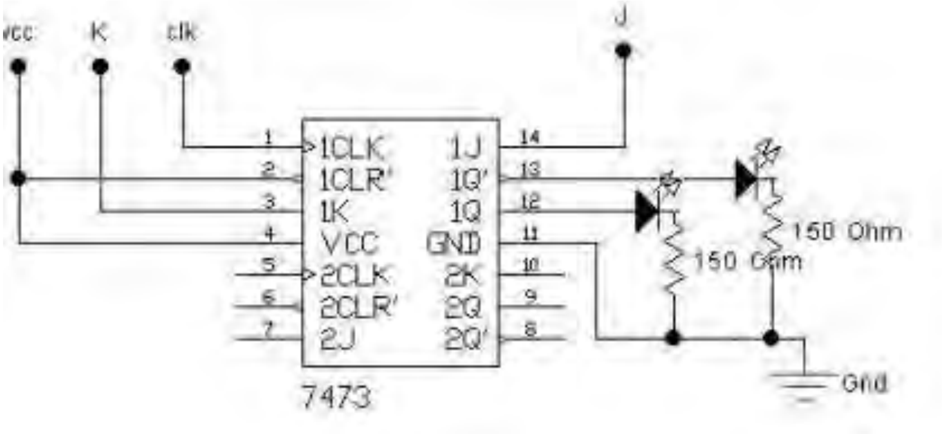
- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 1 buah Resistor 150Ω
- 1 buah IC 7473
- *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

4. PROSEDUR PRAKTIKUM :

a. Rangkailah rangkaian gerbang sesuai dengan gambar rangkaian
b. Amatilah keluaran kombinasi gerbang tersebut dan buatlah tabel kebenarannya
c. Analisalah rangkaian JK flip-flop
d. simpulkan percobaan anda

5. RANGKAIAN PERCOBAAN:

a. Buatlah rangkaian J-K -Flip flop pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut, dengan menggunakan komponen IC 7473.



6. KESIMPULAN

1. JUDUL : RANGKAIAN SEKUENSIAL REGISTER

2.TUJUAN :

a. Mengobservasi rangkaian Sekuensial register
b. Mendemonstrasikan operasi dan fungsi karakteristik register

3. PERALATAN :

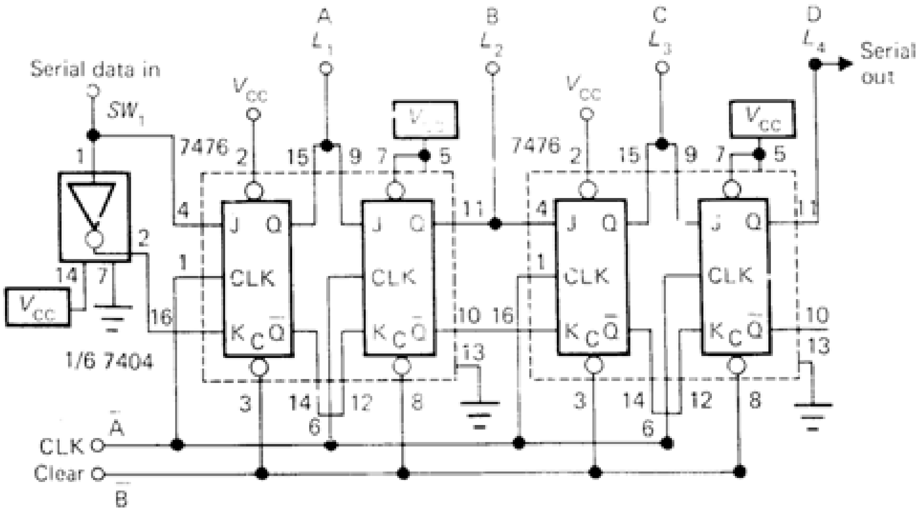
- 1 buah *Trainer digital experimenter*
- 1 buah IC 7474
- 1 buah IC 7476
- 1 buah .IC 7432
- 1 buah *Logic Probe*
- Kabel Praktikum

4. PROSEDUR PRAKTIKUM :

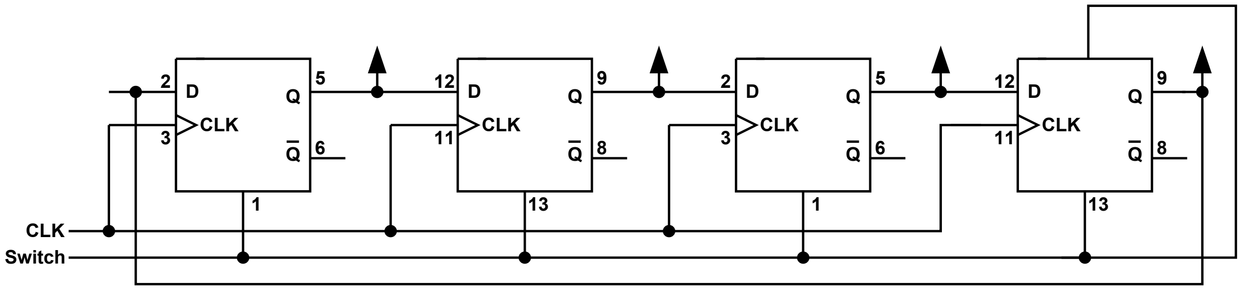
a. Rangkailah rangkaian register sesuai dengan gambar atau skema rangkaian
b. Amatilah masukan dan masukan gerbang tersebut dan buatlah tabel kebenarannya
c. Analisalah rangkaiaan register dari JK Flip-flop
d. simpulkan percobaan anda

5. RANGKAIAN PERCOBAAN:

1. Buatlah rangkaian Register Geser dengan JK-FF pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut, dengan menggunakan komponen IC 7476 dan gerbang Not. IC 7404.



2. Buatlah rangkaian Register Geser dengan D FF pada *trainer* sesuai dengan gambar berikut,



6. KESIMPULAN

E. Proyek

PROYEK 1

Rancanglah dari pernyataan ini:

Pagar otomatis digerakkan oleh sebuah motor listrik, dimana motor listrik hanya akan bergerak apabila pagar tertutup dan sensor mendeteksi benda.

Dari pernyataan di atas coba kalian buat:

a. Catatan kondisi masukan dan keluarannya

b. Tabel kebenaran

c. Fungsi logika

d. Dari fungsi logika tersebut , Buatlah perangkat kerasnya, *input* dihubungkan ke *switch dan output* dihubungkan ke led

c. Catu daya 5 Volt DC

Selesaikan Proyek tersebut dengan prosedur pekerjaan sebagai berikut:

a. Persiapan
- Menyiapkan alat dan bahan

b. Proses (Sistematika & Cara Kerja)
- Membuat *lay out*/skema rangkaian sesuai dengan soal penugasan
- Memasang komponen sesuai *lay out* /skema rangkaian yang telah dibuat
- Melakukan penyolderan sesuai dengan *lay out*/skema rangkaian yang telah dibuat
- Melakukan pengukuran rangkaian dengan menggunakan AVO meter

c. Hasil Kerja/Unjuk Kerja
- Melakukan uji coba rangkaian

d. Sikap Kerja
- Penggunaan alat sesuai dengan fungsinya

PROYEK 2

Rancanglah dari pernyataan ini:

Lampu interior mobil akan padam jika kedua pintu yang ada di mobil tertutup, jika salah satu pintu terbuka lampu akan menyala.

Dari pernyataan di atas coba kalian buat:

a. Catatan kondisi masukan dan keluarannya

b. Tabel kebenaran

c. Fungsi logika

d. Dari fungsi logika tersebut, buatlah perangkat kerasnya, *input* berupa *switch* dan *output* berupa led

c. Catu daya 5 Volt DC

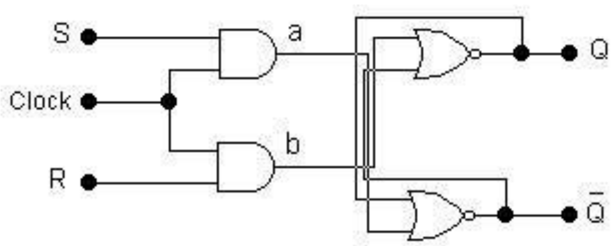
Selesaikan Proyek tersebut dengan prosedur pekerjaan sebagai berikut:

a. Persiapan
   - Menyiapkan alat dan bahan
b. Proses (Sistematika & Cara Kerja)
   - Membuat lay out sesuai dengan soal penugasan
   - Memasang komponen sesuai *lay out* yang telah dibuat
   - Melakukan penyolderan sesuai dengan *lay out* yang telah dibuat
   - Melakukan pengukuran rangkaian dengan menggunakan AVO meter
c. Hasil Kerja/Unjuk Kerja
   - Melakukan uji coba rangkaian
d. Sikap Kerja
   - Penggunaan alat sesuai dengan fungsinya

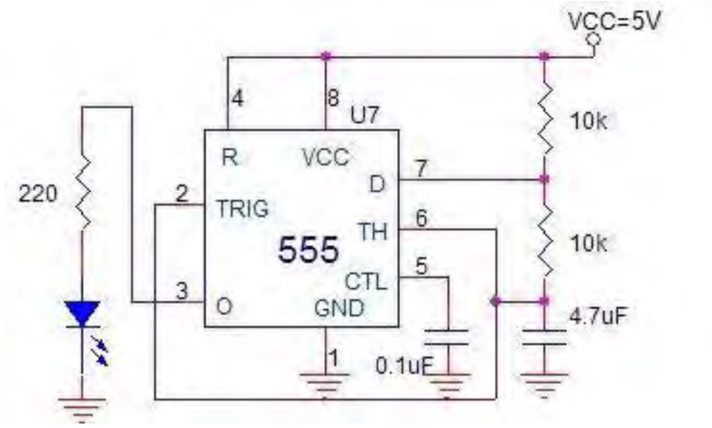
PROYEK 3

Rancanglah dari rangkaian D Flip-flop dengan *clock* di bawah ini:

a. Gambar Ranglkaian D Flip-Flop yang dibentuk dari gerbang AND dan Gerbang NOR



b. Buatlah rangkaian *clock* IC 555 (pembangkit pulsa) seperti di bawah ini, *output* dikaki 3 diparalelkan untuk masukkan *clock* pembangkit pulsa pada D Flip-flop.



c. Selesaikan Proyek tersebut dengan prosedur pekerjaan sebagai berikut:

1. Persiapan
   - Menyiapkan alat dan bahan
2. Proses (Sistematika & Cara Kerja)
   - Membuat *lay out* sesuai dengan soal penugasan
   - Memasang komponen sesuai *lay out* yang telah dibuat
   - Melakukan penyolderan sesuai dengan *lay out* yang telah dibuat
   - Melakukan pengukuran rangkaian dengan menggunakan AVO meter
3. Hasil Kerja/Unjuk Kerja
   - Melakukan uji coba rangkaian
4. Sikap Kerja
   - Penggunaan alat sesuai dengan fungsinya

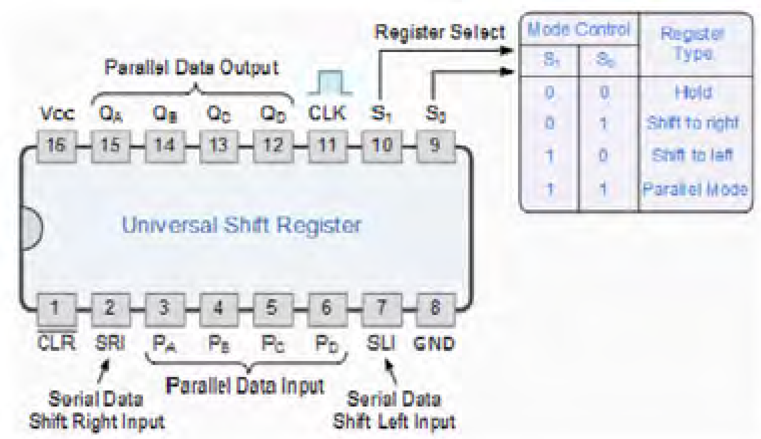
PROYEK 4

Rancanglah rangkaian register universal di bawah ini:

a. Amati gambar register universal

b. Pelajari tentang operasi mode pada register universal

c. Pilihlah salah satu mode operasi yang akan dibuat (apakah register geser kiri, geser kanan atau input paralel ?)



d. Gunakan kembali rangkaian clock IC 555 yang pernah kalian buat pada Proyek 3

e. Selesaikan Proyek tersebut dengan prosedur pekerjaan sebagai berikut:

1. Persiapan
   - Menyiapkan alat dan bahan
2. Proses (Sistematika & Cara Kerja)
   - Membuat *lay out* sesuai dengan soal penugasan
   - Memasang komponen sesuai *lay out* yang telah dibuat
   - Melakukan penyolderan sesuai dengan *lay out* yang telah dibuat
   - Melakukan pengukuran rangkaian dengan menggunakan AVO meter
3. Hasil Kerja/Unjuk Kerja
   - Melakukan uji coba rangkaian

14. Sikap Kerja

- Penggunaan alat sesuai dengan fungsinya

DAFTAR PUSTAKA

A Selan, Charles, Drs, Dipl ing. 2004. *Modul Rangkaian Listrik Arus Bolak-balik*. TEDC Bandung.

A Selan, Charles, Drs, Dipl ing. 2004. *Modul Kemagnetan*. TEDC Bandung.

Asrizal, Amir Drs. 2000. *Modul Teknik Digital untuk SMK*. PPPG Malang.

bl. Theja. 1977. *A text-book of electrical technology*. S*. Chand and Company. Ltd*. Ram Nagar New Delhi

Dale R. Patrick, Proffesor and Stephen W. Fardo. 1981. "*Experimenting With Industrial Electrical Systems Departement*" Copyright @ by Howard W. Sams & Co.,inc Indianapolis, Indiana.

Erawan, Bambang, Drs. 2012*. Dasar Semikonduktor Diklat kontrol Statis*. Modul PPPPTK- BMTI.

Erawan, Bambang, Drs. 2010. *Elektronika dasar*. Modul PPPPTK- BMTI.

Francis Wiston Sears and Mark Zemansky. 1962. Saduran bebas oleh DR Soemitro, Fisika untuk Universitas, Jilid II, Listrik dan magnit. Jakarta : Binatjipta

Greg Kovacs. *Operational Amplifiers*. *Department of Electrical Engineering Stanford University*.

Harvery Braca Lemon and Michael Ference, JR. 1942. *Analytical Experimental Physics*. Lothian Publishing CO.PTY.Ltd, Chicago.

Indonesia Australia Partnership for Development, Batam Institutional *Development Project*. 2002.*Package for Digital Electronics*,

Ilyas Erfi, Drs, MM. 2012. *Modul Rangkaian Arus Bolak-balik*. Diklat Teknis Prinsip dan Pengukuran Listrik, PPPPTK BMTI.

Juhari, Spd. 2006*. Modul Rangkaian DC Dan AC*. PPPGT.

Januar,Jafe. 2004. *Menggambar rangkaian Elektronika dan menjalankan simulasi dengan Circuit Maker Versi 5.0 for windows*. Jakarta: PT. Gramedia.

John Crowe and Barrie Hayes-Gill. *Introduction to Digital Electronics.* R G Powell Nottingham Trent University.

Knox, Rosemary. 1988. *Fundamentals Of Digital Electronic3* By Delmar Publisher Inc.

Malvino and Albert Paul. *Elektronika Komputer Digital*. Jakarta: Erlangga.

Mano, M. M .1. 1983. *Digital Logic and Computer Design*. Printice Hall of India, 991.

Muchlas. 2005. *Rangkaian Digital, Gaya Media*. Yogyakarta.

Kubala, Thomas S. 1981. *Circuit concepts: Direct and Alternating Current*. Delmar Publisher.

Indonesia Australia Partnership for skills Development Batam Instritutional Development Project" Apply DC-AC Fundamentals - Part C ,2002

Nelkon and Parker. 1977. *Advanced Level Physics*, Fourth Edition. London,.

Orla E. Loper, Arthur F.Ahr, and Lee R. clendenning, "*Introduction to Electricity and Electronics*". Delmar Publishers Copyright 1979.

Rieger, Heinz. 1987. Tegangan bolak-balik, Arus bolak-balik. Siemens.

Robert L, Weber and Marsh and Kenneth V, Maning. 1959. Physics for Science and Engineering, *First Edition*, MC, Graw-Hill Book Company, INC, New York.

Raymond A, Serway. 1985. *Physics for Scientist and Engineering*, Second *edition*, Harrisonburg, Virginia.

Tokheim, Roger L. 1998. *Prinsip-prinsip Digital*, Jakarta: Bina Pustaka.

The New Zeland Technical Correspondence Institute Departemen of Education. 1977. *Electrical Theory and Practice*. E.C. Keating, Geverment Printer,Willington New Zealand.

Widjanarka, N Wijaya, Ir. 2006. *Teknik.* Penerbit Erlangga.

http://elektronikadasar.info/fungsi-transistor.htm

http://dien-elcom.blogspot.com

http://insyaansori.blogspot.com" Thyristor